



**TUGAS AKHIR - RG 141536**

**ANALISIS PERUBAHAN IONOSFER DAN POSISI STASIUN  
GPS-CORS PADA SAAT LETUSAN BESAR GUNUNG  
BERAPI 2010**

**(Studi Kasus : Gunung Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta)**

LINO GARDA DENARO  
NRP 3511 100 033

Dosen Pembimbing  
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D

PROGRAM STUDI TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

***“Halaman Sengaja Dikosongkan”***

**IONOSPHERE AND POSITION CHANGES ANALYSIS  
OF GPS-CORS STATIONS CAUSED BY THE  
GREATEST VOLCANIC ERUPTION 2010  
(CASE STUDY : MOUNT MERAPI, DAERAH  
ISTIMEWA YOGYAKARTA)**

Student Name : Lino Garda Denaro  
NRP : 3511 100 033  
Department : Teknik Geomatika FTSP-ITS  
Supervisor : M. Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D

**ABSTRACT**

*The eruption of Mount Merapi is a natural phenomenon that often occurred in Central Java. From several eruptions that have occurred, the biggest eruption was occurred in early morning 01.45 AM at November 5<sup>th</sup> 2010 GMT+7. The eruption upwards pressure accompanied by lava ejected through the mouth of the mountain. From the eruption, there are some acoustic wave, gravity, and Reyleigh. Those waves have the characteristics of each. Rayleigh wave spreads horizontally, this wave which usually causes earthquake. And the others, will spread up in the ionosphere that are acoustic and gravity wave which have a speed of 1 km/h and 0.3 km/h respectively. These waves will spread up until about 300 km from surface. The disorder can be determined from GPS signals through it. Disturbances on the ionosphere can be measured using a combination of L4 which is called a linear ionospheric combination in order to get the value of TEC (Total Electron Content) wherein 1 TECU is  $10^{16}$  electron/m<sup>2</sup>. In this research, the biggest TEC value is 1.8 monitored by CUJK statium of satellite GPS 06, then 1.5 TECU (CLBG), 1.7 TECU (CSBK), 1.1 TECU (MLKN), 1 TECU (CTCN), 0.9 TECU*

*(MNNA), 0.8 TECU (JMBI), 0.7 TECU (LAIS), 0.4 TECU (NGNG), and 0.2 TECU (LNNG). From another perspection using satellite GPS 03 are 1.4 TECU (CTCN), 1.4 TECU (CUJK), 1.1 TECU (CSBK), 0.7 TECU (NGNG), 0.5 TECU (MNNA), dan 0.3 TECU (LNNG). The combination of L3 which serves to determine the accuracy of a position called Ionospheric-free linear combination. Here, L3 will be used to determine the deformation of the GPS-CORS station before – after eruption. The amount of deformation at each of station are varies, namely 32.0 mm (CLBG), 30.6 mm (CUJK), 18.9 mm (LAIS), 15.5 mm (JMBI), 8.4 mm (CTCN), 5.4 mm (LNNG), 20.4mm (MLKN), 34 mm (MNNA) dan 9.2 mm (NGNG).*

*Keyword: Mount Merapi, Eruption, acoustic, TEC, Deformation.*

**ANALISIS PERUBAHAN IONOSFER DAN  
POSISI STASIUN GPS-CORS PADA SAAT  
LETUSAN BESAR GUNUNG MERAPI 2010**  
(Studi Kasus : Gunung Merapi, Daerah Istimewa  
Yogyakarta)

**TUGAS AKHIR**

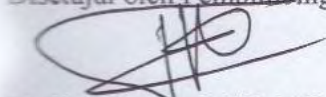
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**LINO GARDA DENARO**

NRP. 3511 100 33

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



**M. Nur Cahyadi, ST, MSc, PhD.**

NIP. 1981 1223 2005 01 1002

..... (Pembimbing)



SURABAYA, JULI 2015

**ANALISIS PERUBAHAN IONOSFER DAN POSISI  
STASIUN GPS-CORS PADA SAAT LETUSAN BESAR  
GUNUNG MERAPI 2010  
(STUDI KASUS : GUNUNG MERAPI, DAERAH  
ISTIMEWA YOGYAKARTA)**

Nama Mahasiswa : Lino Garda Denaro  
NRP : 3511 100 033  
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS  
Dosen Pembimbing: M. Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D

**ABSTRAK**

*Terjadinya letusan gunung Merapi merupakan fenomena alam yang sering terjadi di daerah Jawa Tengah. Dari beberapa letusan yang telah terjadi, letusan yang terbesar terjadi pada 5 November tahun 2010 dini hari pada 01.45 AM WIB. Letusan gunung tersebut memberikan tekanan ke atas yang disertai oleh lava yang tersembur melalui mulut gunung. Dari akibat letusan ini, ada beberapa perambatan gelombang yakni Acoustic, Gravity, dan Rayleigh wave. Gelombang tersebut memiliki ciri-ciri masing-masing. Gelombang Rayleigh merambat secara horizontal. Gelombang lainnya, acoustic yang mempunyai kecepatan berkisar 1 km/h dan gelombang gravitasi yang mempunyai kecepatan 0,3 km/h, akan merambat hingga ke lapisan ionosfer yang berjarak kira-kira 300 km dari permukaan bumi. Gangguan tersebut dapat diketahui dari sinyal GPS yang melaluinya. Pada gangguan di ionosfer tersebut dapat diukur dengan menggunakan kombinasi L4 sehingga didapat nilai TEC (Total Electron Content) dimana 1 TECU adalah  $10^{16}$  elektron/m<sup>2</sup>. Pada penelitian ini, nilai TEC yang diamati dari satelit 6 yang terbesar adalah berkisar 1,8 TECU yang direkam oleh stasiun CUJK, 1,5 TECU (CLBG), 1,7 TECU (CSBK), 1,1 TECU (MLKN), 1 TECU (CTCN), 0,9*

*TECU (MNNA), 0,8 TECU (JMBI), 0,7 TECU (LAIS), 0,4 TECU (NGNG), dan 0,2 TECU (LNNG). Dari data lain pengamatan TEC yang direkam oleh satelit 3 adalah 1,4 TECU (CTCN), 1,4 TECU (CUJK), 1,1 TECU (CSBK), 0,7 TECU (NGNG), 0,5 TECU (MNNA), dan 0,3 TECU (LNNG). Kombinasi L3 yang berfungsi untuk menentukan keakuratan suatu posisi yang disebut Ionospheric-free linear combination. L3 disini akan digunakan untuk menentukan Perubahan posisi pada stasiun GPS-CORS sebelum – sesudah terjadinya letusan. Besarnya nilai Perubahan posisi pada masing-masing stasiun berbeda-beda yaitu 32,0 mm (CLBG), 30,6 mm (CUJK), 18,9 mm (LAIS), 15,5 mm (JMBI), 8,4 mm (CTCN), 5,4 mm (LNNG), 20,4 mm (MLKN), 34 mm (MNNA) dan 9,2 mm (NGNG).*

*Kata Kunci: Gunung Merapi, Erupsi, acoustic, TEC, Perubahan posisi.*

**IONOSPHERE AND POSITION CHANGES ANALYSIS  
OF GPS-CORS STATIONS CAUSED BY THE  
GREATEST VOLCANIC ERUPTION 2010  
(CASE STUDY : MOUNT MERAPI, DAERAH  
ISTIMEWA YOGYAKARTA)**

Student Name : Lino Garda Denaro  
NRP : 3511 100 033  
Department : Teknik Geomatika FTSP-ITS  
Supervisor : M. Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D

**ABSTRACT**

*The eruption of Mount Merapi is a natural phenomenon that often occurred in Central Java. From several eruptions that have occurred, the biggest eruption was occurred in early morning 01.45 AM at November 5<sup>th</sup> 2010 GMT+7. The eruption upwards pressure accompanied by lava ejected through the mouth of the mountain. From the eruption, there are some acoustic wave, gravity, and Reyleigh. Those waves have the characteristics of each. Rayleigh wave spreads horizontally, this wave which usually causes earthquake. And the others, will spread up in the ionosphere that are acoustic and gravity wave which have a speed of 1 km/h and 0.3 km/h respectively. These waves will spread up until about 300 km from surface. The disorder can be determined from GPS signals through it. Disturbances on the ionosphere can be measured using a combination of L4 which is called a linear ionospheric combination in order to get the value of TEC (Total Electron Content) wherein 1 TECU is  $10^{16}$  electron/m<sup>2</sup>. In this research, the biggest TEC value is 1.8 monitored by CUJK statium of satellite GPS 06, then 1.5 TECU (CLBG), 1.7 TECU (CSBK), 1.1 TECU (MLKN), 1 TECU (CTCN), 0.9 TECU*



*(MNNA), 0.8 TECU (JMBI), 0.7 TECU (LAIS), 0.4 TECU (NGNG), and 0.2 TECU (LNNG). From another perspection using satellite GPS 03 are 1.4 TECU (CTCN), 1.4 TECU (CUJK), 1.1 TECU (CSBK), 0.7 TECU (NGNG), 0.5 TECU (MNNA), dan 0.3 TECU (LNNG). The combination of L3 which serves to determine the accuracy of a position called Ionospheric-free linear combination. Here, L3 will be used to determine the deformation of the GPS-CORS station before – after eruption. The amount of deformation at each of station are varies, namely 32.0 mm (CLBG), 30.6 mm (CUJK), 18.9 mm (LAIS), 15.5 mm (JMBI), 8.4 mm (CTCN), 5.4 mm (LNNG), 20.4mm (MLKN), 34 mm (MNNA) dan 9.2 mm (NGNG).*

*Keyword: Mount Merapi, Eruption, acoustic, TEC, Deformation.*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'aalamiin. Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan nikmat, dan rahmat-Nya berupa keimanan, kemudahan dan pertolongan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul ” **Analisis Perubahan Ionosfer dan Posisi Stasiun GPS-CORS Pada Saat Letusan Besar Gunung Berapi 2010**”.

Terselesainya Tugas Akhir ini, tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan yang berbahagia ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yang selama ini dengan tulus ikhlas telah mendidik, memberikan doa dan kasih sayangnya setiap saat. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan keselamatan dan kebahagiaan dunia akhirat.
2. Dr. Ir. Muhammad Taufik selaku Ketua Program Studi Teknik Geomatika - FTSP ITS.
3. Lalu Muhamad Jaelani, ST, M.Sc, Ph.D selaku koordinator Tugas Akhir, terima kasih atas semua bantuan dan kesempatan yang telah di berikan.
4. Mokhamad Nur Cahyadi ST, MSc, PhD selaku dosen pembimbing, atas kebaikan dan dedikasinya dalam memberikan bimbingan hingga dapat terselesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Arif dan bapak Joni, dari instansi Badan Informasi Geospatial (BIG) yang telah mengizinkan

penulis dalam bantuan berupa data sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

6. Kepada teman-teman yang senantiasa memberikan motivasi, doa dan nasihatnya untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini, serta bantuannya disaat penulis membutuhkan bantuan.
7. Seluruh saudara angkatan **G13 (Geomatics 2011)** yang telah menemani dalam mengerjakan tugas akhir, terima kasih banyak atas bantuan dan dukungannya.
8. Seluruh teman-teman yang telah memberikan semangat dan doanya dan penghuni Kos Qur'an-1 yang telah berjuang bersama-sama dalam merasakan indahnya kebersamaan dalam istiqamah dan jamaah.
9. Semua teman-teman Teknik Geomatika FTSP-ITS. Mudah-mudahan Allah SWT berkenan membalas semua kebaikan, dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Dengan segala keterbatasan, Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun penulis harapkan untuk pengembangan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga Tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan diterima sebagai sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Tugas Akhir .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II.....	7
DASAR TEORI .....	7
2.1 Gunung Merapi .....	7
2.1.1 Kondisi Fisik dan Geografis .....	7
2.1.2 Sejarah Letusan.....	8
2.2 GPS ( <i>Global Positioning System</i> ).....	9
2.2.1 Sinyal GPS .....	9

2.2.2 Penginformasian Jarak (kode).....	11
2.2.3 Penginformasian Posisi Satelit.....	12
2.2.4 Gelombang Pembawa .....	14
2.2.5 Perjalanan Sinyal GPS .....	15
2.2.7 Beberapa Kombinasi Data GPS .....	16
2.3 Karakteristik Ionosfer .....	20
2.3.1 Lapisan D .....	21
2.3.2 Lapisan E .....	22
2.3.3 Lapisan F1 dan F2.....	22
2.4 Efek Lapisan Ionosfer terhadap Sinyal GPS.....	23
2.4.1 Kecepatan Fase dan Group .....	23
2.4.2 Refraksi Ionosfer.....	25
2.5 <i>Total Electron Content</i> (TEC).....	28
2.5.1 Menghitung Efek TEC .....	30
2.5.2 Menentukan STEC dan VTEC.....	32
2.6 Deformasi.....	37
2.6.1 Deformasi Gunung Api dan Metode Pemantauannya .....	37
2.6.2 Pemantauan Secara Kontinu .....	39
2.7 Penelitian Terdahulu .....	39
BAB III .....	41
METODOLOGI.....	41
3.1 Lokasi Pengamatan .....	41
3.2 Data dan Peralatan .....	42

3.2.1 Data .....	42
3.2.2 Peralatan.....	43
3.3 Tahap Pelaksanaan.....	44
3.4 Tahap Pengolahan Data .....	47
BAB IV .....	51
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1 Analisa Gangguan TEC (Hari 308, 4 November 2010) .....	51
4.2 Analisa Penentuan IPP dan SIP .....	73
4.3 Analisa Perubahan Posisi Stasiun GPS-CORS .....	78
BAB V .....	83
KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
5.1 Kesimpulan .....	83
5.2 Saran .....	86
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

***”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 Data CORS-GPS.....	41
Tabel 4. 1 Nilai Pengamatan TEC oleh Satelit GPS-03....	76
Tabel 4. 2 Nilai Pengamatan TEC oleh Satelit GPS-06....	77
Tabel 4. 3 Perubahan posisi stasiun CLBG.....	78
Tabel 4. 4 Perubahan posisi stasiun CTCN.....	78
Tabel 4. 5 Perubahan posisi stasiun CUJK .....	78
Tabel 4. 6 Perubahan posisi stasiun JMBI .....	79
Tabel 4. 7 Perubahan posisi stasiun LAIS .....	79
Tabel 4. 8 Perubahan posisi stasiun LNNG .....	79
Tabel 4. 9 Perubahan posisi stasiun MLKN .....	79
Tabel 4. 10 Perubahan posisi stasiun MNNA .....	80
Tabel 4. 11 Perubahan posisi stasiun LNNG .....	80



***"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"***

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Informasi yang dikandung sinyal GPS.....	10
Gambar 2.2 Struktur frekuensi dan parameter dasar komponen sinyal GPS.....	11
Gambar 2. 3 Prinsip penentuan jarak (Pseudorange) dengan kode.....	12
Gambar 2.4 Format pesan navigasi GPS .....	13
Gambar 2.5 Isi dari pesan navigasi GPS.....	14
Gambar 2.6 Data dan informasi yang dibawa oleh gelombang pembawa L1 dan L2.....	15
Gambar 2.7 Perjalanan sinyal GPS .....	16
Gambar 2.8 Perbedaan IPP ( <i>Ionospheric Pierce Point</i> ) dan SIP ( <i>Sub-ionospheric Point</i> ) .....	20
Gambar 2.9 Perbandingan lapisan di ionosfer pada siang dan malam hari. Pada malam hari tidak terdapat cahaya matahari sehingga lapisan bawah ionosfer tidak terionisasi. ....	21
Gambar 2. 10 Geometry untuk bagian <i>delay</i> ionosfer. ....	26
Gambar 2. 11 Pengertian VTEC ( <i>Vertical Total Elektron Content</i> ) dan STEC ( <i>Slant Total Elektron Content</i> ) .....	29
Gambar 2.12 Gambar Penentuan VTEC dengan GPS .....	32
Gambar 2.13 Geometri model ionosfer lapisan tunggal ...	35
Gambar 2. 14 Gejala deformasi pada gunung api aktif.....	38
Gambar 3. 1 Lokasi CORS-GPS.....	42
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan.....	44
Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data .....	47
Gambar 4. 1 Perubahan STEC pada satelit 3 dari stasiun CSBK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	51

Gambar 4. 2 Pengamatan TEC pada satelit 3 dari stasiun CSBK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	52
Gambar 4. 3 Perubahan STEC pada satelit 3 dari stasiun CTCN yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	53
Gambar 4. 4 Pengamatan TEC pada satelit 3 dari stasiun CTCN yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	54
Gambar 4. 5 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun CTCN yang diamati dari jam 17.00 UT-24.00 UT .....	55
Gambar 4. 6 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun CTCN yang diamati dari jam 17.00 UT-24.00 UT .....	56
Gambar 4. 7 Perubahan STEC pada satelit 3 dari stasiun CUIK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	57
Gambar 4. 8 Pengamatan TEC pada satelit 3 dari stasiun CUIK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	58
Gambar 4. 9 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun CUIK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	59
Gambar 4. 10 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun CUIK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	60
Gambar 4. 11 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun CLBG yang diamati dari jam 17.00 UT-24.00 UT .....	61

Gambar 4. 12 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun CLBG yang diamati dari jam 17.00 UT-24.00 UT .....	62
Gambar 4. 13 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun CSBK yang diamati dari jam 18.00 UT-22.00 UT .....	63
Gambar 4. 14 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun CSBK yang diamati dari jam 18.00 UT-22.00 UT .....	64
Gambar 4. 15 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun JMBI yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	65
Gambar 4. 16 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun JMBI yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	66
Gambar 4. 17 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun MLKN yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT .....	67
Gambar 4. 18 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun MLKN yang diamati dari jam 18.00UT-24.00UT .....	68
Gambar 4. 19 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun NGNG yang diamati dari jam 19.00 UT-24.00 UT .....	69
Gambar 4. 20 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun NGNG yang diamati dari jam 19.00UT-24.00UT .....	70
Gambar 4. 21 Perubahan STEC pada satelit 3 dari stasiun NGNG yang diamati dari jam 19.00 UT-24.00 UT .....	71

Gambar 4. 22 Pengamatan TEC pada satelit 3 dari stasiun NGNG yang diamati dari jam 19.00UT-24.00UT .....	72
Gambar 4. 23 Gambar lintasan dan IPP satelit nomor 3 yang tercatat dari beberapa stasiun CORS-GPS dan nilai TEC.....	74
Gambar 4. 24 Gambar lintasan satelit nomor 6 yang tercatat dari beberapa stasiun CORS-GPS dan nilai TEC .....	75
Gambar 4. 25 Gambar perbandingan TEC dan perubahan posisi .....	81

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Indonesia adalah Negara kepulauan yang berada pada pertemuan dan tumbukan tiga lempeng tektonik yaitu Australia, Eurasia, dan Pasifik yang pergerakannya merupakan salah satu penyebab gempa bumi yang ada di Indonesia dan Negara-negara tetangga lainnya. Akibat dari pergerakan lempeng tersebut maka Indonesia sering disebut berada pada daerah Cincin Api. Cincin api adalah daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi. Akibat tumbukan lempeng tersebut maka Indonesia mempunyai 129 buah gunung api aktif atau sekitar 13 % dari gunung aktif di dunia sepanjang Sumatera, Jawa sampai laut Banda. Bukit barisan (30 buah), P. Jawa ( 35 buah), P. Bali- Kepulauan Nusa Tenggara (30 buah), Kepulauan Maluku (16 buah) dan Sulawesi (18 buah) yang dikategorikan aktif (Nandi, 2006).

Gunung berapi atau gunung api secara umum adalah istilah yang didefinisikan sebagai saluran fluida panas (batuan dalam wujud cair atau lava) yang memanjang dari kedalaman sekitar 10 km di bawah permukaan bumi sampai ke permukaan bumi, termasuk endapan hasil akumulasi material yang dikeluarkan saat dia meletus. Secara singkat, gunung berapi adalah gunung yang masih aktif dalam mengeluarkan material di dalamnya. Gunung Merapi adalah gunung berapi di Jawa Tengah dan merupakan salah satu gunung api teraktif di Indonesia. Letak koordinat lintangnya adalah 7°32'31'' LS dan 110°26'46'' BT. Lereng sisi selatan berada dalam administrasi Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan lainnya berada dalam wilayah Provinsi Jawa Tengah, yaitu Kabupaten Magelang di sisi barat, Kabupaten Boyolali di sisi utara dan timur, serta Kabupaten Klaten di sisi tenggara. Akibat dari

letusan Gunung Merapi ini menyebabkan beberapa hal termasuk perubahan variasi Ionosfer.

Pada terjadinya letusan gunung ini, magma yang berada dalam perut bumi tidak stabil dan akan terjadi tekanan ke atas. Tekanan ini akan membentuk dan merambatkan energi gelombang permukaan maupun dibawah tanah dalam bentuk getaran. Perambatan yang berada pada permukaan bumi dan merambat secara horizontal disebut dengan gelombang *rayleigh*. Gelombang *rayleigh* inilah yang akan mengakibatkan gempa bumi. Namun, untuk gelombang ini tidak akan dibahas lebih jauh. Pada letusan Gunung Api terdapat dua gelombang yang dominan yang biasa disebut dengan gelombang *acoustic* (kecepatan 1 km/s) dan *Gravity* (kecepatan 0,3 km/s). Semakin besar skala letusan yang diakibatkan, maka semakin kuat kedua gelombang tersebut tercipta hingga merambat mencapai lapisan ionosfer dengan skala yang berbeda-beda. Pada saat gelombang ini mencapai ionosfer maka akan terjadi gangguan ionosfer yang diukur dengan sinyal GPS yang dikirimkan ke receiver permukaan bumi. Gangguan ini direkam dengan frekuensi L4 yang terdiri dari kombinasi L1 (1575,42 MHz) dan L2 (1227,60 MHz). Dengan data dari beberapa satelit yang melintasi di atasnya, gangguan ini terlihat setelah 11 – 16 menit terjadinya gempa dan merambat secepat kecepatan  $\sim 0,7$  km/detik (Cahyadi & Heki, 2013)

GPS biasa dibuat untuk navigasi, tetapi juga berguna untuk pengamatan bumi secara umum, contohnya penurunan lempeng/deformasi posisi atau *crustal deformation* dan studi atmosfer. Untuk kasus perubahan posisi, L3 sangat diperlukan untuk menentukan suatu posisi dengan sangat akurat yang biasa disebut dengan *ionospheric-free linear combination*. Sehingga dapat diketahui perubahan posisi titik sebelum dan sesudah terjadinya erupsi Merapi. GPS juga menawarkan metode alternatif untuk menganalisa pergerakan temporal dan spasial ionosfer (Heki and Ping 2005; Kutiev et al 2007). Gelombang

elektromagnetik yang ditransmisikan oleh satelit GPS terjadi *delay* ketika gelombang tersebut merambat melalui ionosfer. *Time-delay* atau penundaan ini dapat digunakan untuk menyimpulkan variasi ionosfer, melalui kuantitas yang dikenal sebagai *Total Electron Content* (TEC). Pada lapisan ionosfer ini maka akan dihitung TEC setelah beberapa menit terjadinya gempa. TEC biasanya digunakan dalam unit TEC (1 unit TEC sama dengan  $10^{16}$  el/m<sup>2</sup>) (Cahyadi & Heki, 2013). Dengan demikian, pada studi ini pengaruh Gunung Merapi yang meletus dapat diketahui dari perilaku ionosfer melalui gelombang pembawa pada satelit GPS yang dipancarkan ke stasiun di bumi dan hubungan besarnya TEC terhadap perubahan posisi.

Pada penelitian sebelumnya, (Hastono, 2008) menjelaskan bahwa pada studi meletusnya Gunung Merapi pada tahun 2010, memberikan keterangan bahwa pada proses erupsi Gunung Merapi ini mengakibatkan perubahan TEC di atas ataupun di daerah sekitar gunung Merapi. Pengamatan dilakukan selama 4 hari sebelum dan 4 hari sesudah erupsi yang menerangkan bahwa pada saat terjadinya erupsi, nilai TEC terjadi kenaikan dan setelah erupsi maka nilai TEC kembali semula. Sementara, dalam penelitian ini dibahas mengenai aktivitas ionosfer yang diamati pada hari 5 November 2010 WIB.



## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa permasalahan, antara lain:

- a. Bagaimana pengaruh gempa vulkanik terhadap aktifitas ionosfer yang berada disekitar letusan Gunung Merapi ?
- b. Bagaimana pengaruh gangguan ionosfer akibat letusan gunung merapi tahun 2010 menggunakan pengukuran *Total Electron Content* (TEC) pada receiver CORS-GPS?
- c. Bagaimana perbandingan antara besarnya TEC terhadap perubahan posisi yang ada pada receiver GPS-CORS?

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian ini menjelaskan pengaruh gempa vulkanik terhadap aktivitas ionosfer yang berada disekitar letusan Gunung Merapi.
- b. Penelitian ini menjelaskan gangguan ionosfer akibat letusan Gunung Merapi pada tanggal 5 November 2010 WIB menggunakan pengukuran *Total Electron Content* (TEC) pada receiver CORS-GPS.
- c. Penelitian ini menggunakan data stasiun CORS-GPS tanggal 26 Oktober 2010, 15 November 2010 dan 15 November 2010 atau GPS-Day 299, 305 dan 319.
- d. Penelitian ini menjelaskan perbandingan antara besarnya TEC terhadap perubahan posisi yang ada pada receiver GPS-CORS.

#### **1.4 Tujuan Tugas Akhir**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Untuk mengetahui pengaruh gempa vulkanik terhadap aktivitas ionosfer yang berada di sekitar letusan Gunung Merapi .
- b. Untuk mengetahui pengaruh gangguan ionosfer akibat letusan Gunung Merapi tahun 2010 menggunakan pengukuran *Total Electron Content* (TEC) pada receiver CORS-GPS.
- c. Untuk mengetahui perbandingan antara besarnya TEC terhadap perubahan posisi yang ada pada receiver GPS-CORS.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui informasi dari variasi ionosfer serta nilai TEC-nya pada saat letusan Gunung Merapi terjadi dan perubahan posisi yang diakibat oleh letusan Gunung Merapi 2010.

***"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"***

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Gunung Merapi

##### 2.1.1 Kondisi Fisik dan Geografis

Gunung Merapi merupakan Gunung api yang menunjukkan gejala vulkanisme paling aktif di dunia. Gunung Merapi terletak di bagian sentral pulau Jawa, dan secara administrasi terletak di Kabupaten Sleman yang terbagi ke dalam beberapa wilayah. Sebelah selatan termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Sleman Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, sebelah utara termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Boyolali, sebelah barat termasuk ke dalam wilayah kabupaten Magelang dan sebelah timur tenggara termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Klaten. Letak koordinat puncak Kepundan adalah  $7^{\circ}32'29''$  LS dan  $110^{\circ}26'47''$  BT, dengan ketinggian 2.986 meter di atas permukaan laut. Merapi sendiri lahir dari dua patahan *quaternary* pada kedalaman 6-7 km di bawah bumi yaitu patahan Semarang utara-selatan dan patahan Solo timur-barat. Patahan ini membentuk sebuah parit raksasa di dalam perut bumi yang *molten* lavanya bocor terus menerus dan bertumpuk membeku di kepundan. Tinggi gunung yang bertipe *strato* dengan kubah lava ini selalu berubah setiap tahunnya karena pembentukan tumpukan lava beku.

Kegiatan Gunung Merapi dicirikan oleh perulangan antara kegiatan eksplosif dan serta penghancuran diri. Gunung Merapi memiliki lava kental yang menyumbat mulut kawah. Sumbatan ini berpotensi bahaya karena menaikkan tekanan gas. Tekanan gas yang makin besar dapat mendorong letusan yang dahsyat. Letusan Merapi biasanya diikuti oleh letusan *Piroclastic*

yang sering disebut sebagai awan *Wedus Gembel*. Awan berkecepatan 100 km/jam ini meluncur berlipat-lipat seperti bulu domba, memiliki temperatur 3.000-4.000 C dalam jangkauan radius 7-15 km. Letusan Merapi yang diprediksi telah mencapai puncaknya pada akhir Oktober 2010 lalu menandakan telah terjadinya penurunan tekanan gas pada dapur magmanya. Merapi juga memiliki lava *viscous* yang keluar terus-menerus, bertumpuk membentuk batuan dan pasir di kepundan. Lava atau lahar dingin gugur meluncur turun seperti *avalanche* mengikuti gravitasi, biasanya mengikuti kontur sungai, sehingga fisik Merapi adalah langsung seperti kerucut (Wahyunto & Wasito, 2014).

### 2.1.2 Sejarah Letusan

Gunung Merapi yang terletak diantara Provinsi Jawa Tengah dengan Daerah Istimewa Yogyakarta, merupakan gunung api teraktif, sampai bulan Juni 2006 tercatat mencapai 84 kali erupsi, dengan siklus terpendek 2–5 tahun dan siklus menengah 5-7 tahun ([www.merapi.bgl.esdm.go.id](http://www.merapi.bgl.esdm.go.id)). Sejak tahun 1900-an sampai tahun 2000 tercatat lebih dari 20 kali Merapi mengalami erupsi dengan letusan besar pada tahun 1930, 1961, dan 1969. Erupsi abad ke -19 jauh lebih besar dari letusan abad ke-20, dimana awan panas mencapai 20km dari puncak. Aktivitas Merapi pada abad ke-20 terjadi minimal 28 kali letusan, dimana letusan terbesar terjadi pada tahun 1931 (Wahyunto & Wasito, 2014). Sudah seperempat abad tidak terjadi letusan besar. Erupsi Gunung Merapi tanggal 4-5 November 2010 merupakan letusan terbesar sejak tahun 1872. Erupsi Gunung Merapi pada bulan Oktober sampai November 2010 terjadi sangat besar dan dalam waktu yang cukup lama (sekitar 2 minggu). Pada tanggal 26 Oktober 2010, awan panas dikeluarkan pertama kali pada jam 17.00 WIB selama beberapa hari ke

arah barat – barat daya dan selatan – tenggara, dan diakhiri erupsi terbesar pada tanggal 5 November dini hari.

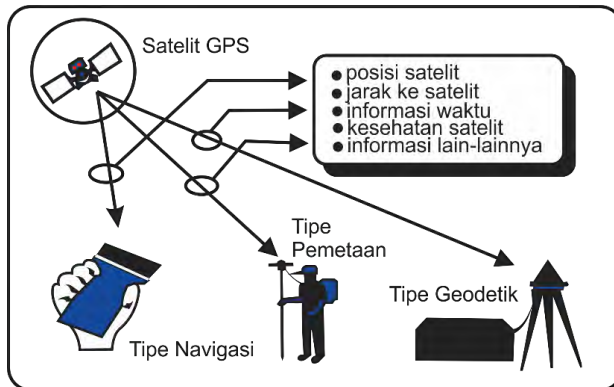
Akibat dari meletusnya gunung Merapi ini dapat menimbulkan dorongan energi gelombang *acoustic* dan momentum secara tiba – tiba selama letusan gunung Merapi akan menghasilkan gangguan pada lapisan atmosfer yang dapat menyebabkan terjadinya fluktuasi atau variasi TEC pada lapisan ionosfer. Semakin besar letusan yang terjadi maka gangguan yang akan dihasilkan pada atmosfer akan besar juga. Hal ini disebabkan karena besarnya energi tersebut dapat mengganggu densitas elektron yang ada di ionosfer hingga radius 400 km dari pusat letusan (Heki, 2004) dalam (Cahyadi & Heki, *Ionospheric disturbances of the 2007 Bengkulu and the 2005 Nias earthquakes, Sumatra, observed with a regional GPS network*, 2013). Aktivitas gunung berapi menyebabkan terbentuknya molekul gas, akibat dorongan energi erupsi gunung berapi, molekul gas tersebut sampai ke ionosfer. Kemudian terjadilah ionisasi atom oksigen yang menyebabkan terjadinya anomali pada TEC ionosfer (Ragone dkk. 2002) dalam (Abidin, 2006).

## **2.2 GPS (Global Positioning System)**

### **2.2.1 Sinyal GPS**

Untuk memberikan informasi, GPS memberikan sinyal-sinyal tentang posisi satelit maupun si pengamat, waktu, jarak melalui transmisinya ke bumi. Sinyal GPS juga digunakan untuk menginformasikan kelayakgunaan (kesehatan) satelit kepada si pengamat, serta informasi pendukung lainnya seperti parameter untuk perhitungan koreksi jam satelit, parameter model ionosfer satu frekuensi (model *Klobuchar*), transformasi waktu GPS ke UTC (*Universal Time Coordinate*), dan status konstelasi satelit (Abidin, 2006).

Dengan menggunakan informasi yang didapat dari satelit dengan jumlah yang cukup, alat penerima receiver GPS, dapat menerima informasi yang dibawa oleh sinyal-sinyal satelit GPS. Maka pengamat dapat menentukan posisi, kecepatan, waktu, maupun parameter – parameter turunan lainnya.



Gambar 2.1 Informasi yang dikandung sinyal GPS.

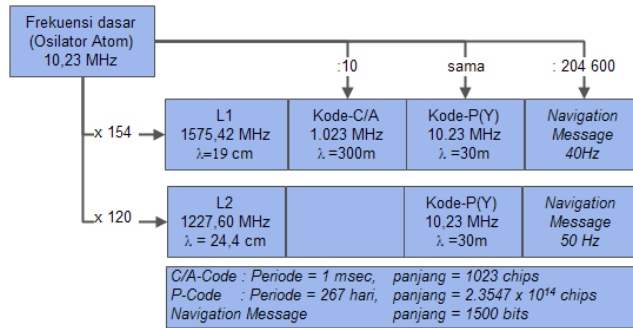
(Abidin, 2006)

Pada dasarnya sinyal GPS dapat dibagi menjadi tiga komponen yaitu :

1. Penginformasian jarak (kode) yang berupa P(Y) dan kode C/A,
2. Penginformasian posisi satelit (*navigation message*), dan
3. Gelombang pembawa (*carrier wave*) L1 dan L2.

Struktur frekuensi dan karakteristik dasar dari ketiga komponen sinyal GPS tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1. Satelit GPS juga memancarkan sinyal ketiga (L3) yang dimodulasikan oleh kode C/A dan mempunyai frekuensi  $1381,05 \text{ MHz} = 135 \times 10,23 \text{ MHz}$  (Spilker, 1996). Sinyal ini sangat baik untuk penentuan posisi dan

lain-lain yang mengabaikan kesalahan-kesalahan yang ada di atmosfer bumi.



Gambar 2.2 Struktur frekuensi dan parameter dasar komponen sinyal GPS  
(Abidin, 2006)

### 2.2.2 Penginformasian Jarak (kode)

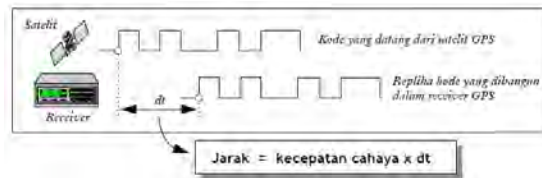
Ada dua kode *Pseudo-range noise* (PRN) yang dipancarkan oleh satelit GPS dan digunakan sebagai penginformasian jarak, yaitu kode - P (P = *Precise* atau *Private*) dan kode -C/A (C/A = *Coarse Acquisition* atau *Clear Access*).

Pada setiap satelit GPS mempunyai kode yang berbeda-beda. Sehingga pada receiver hanya dapat menerima kode dari satelit tertentu yang telah direncanakan. Dalam hal ini juga dapat memberikan keuntungan karena tidak adanya tumpang tindih dalam penerimaan informasi dari masing-masing satelit.

Kode - C/A merupakan rangkaian dari 1023 bilangan biner yang berulang setiap satu milidetik (*msec*) dan sekitar 300 meter dalam unit jarak. Pada kode C/A hanya dimodulasikan pada gelombang pembawa L1. Kode -P merupakan rangkaian bilangan biner yang sangat panjang, yaitu  $2,3547 \times 10^{14}$ . Kode -P tersebut dibentuk



dengan kecepatan 10 kali lebih cepat dibandingkan dengan kode C/A, yaitu 10,23 juta chips per detik. Sehingga untuk kode -P mempunyai panjang gelombang sekitar 30 meter. Kode -P dimodulasikan pada kedua gelombang pembawa L1 dan L2. Prinsip pengukuran jarak yang digunakan adalah dengan membandingkan kode yang diterima dari satelit dengan kode replika yang diformulasikan di dalam receiver, seperti yang digambarkan berikut ini.



Gambar 2. 3 Prinsip penentuan jarak (Pseudorange) dengan kode.

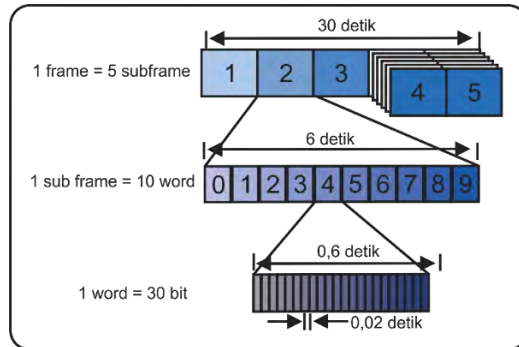
(Abidin, 2006)

Waktu yang diperlukan untuk ‘mengimpitkan’ kedua kode adalah waktu yang diperlukan oleh kode tersebut untuk menempuh jarak dari satelit ke pengamat, sehingga dengan mengalikan data dengan kecepatan cahaya maka jarak antar pengamat dengan satelit dapat ditentukan. Receiver GPS menggunakan jam quartz sehingga ketidaksinkronan dengan jam oleh satelit GPS yaitu menggunakan jam atom. Hal ini akan mengakibatkan kesalahan, sehingga jarak ukuran umum dinamakan jarak semu atau *pseudorange*.

### 2.2.3 Penginformasian Posisi Satelit

Ada beberapa informasi yang dibawa oleh sinyal GPS, salah satunya sinyal GPS berisi pesan navigasi (*navigation message*) yang berisi informasi tentang koefisien koreksi jam satelit, parameter orbit, almanac satelit, UTC, parameter koreksi ionosfer, serta informasi

spasial lainnya seperti status konstelasi dan kesehatan satelit (Abidin, 2006). Struktur pesan navigasi GPS dapat dijelaskan pada Gambar 2.4.



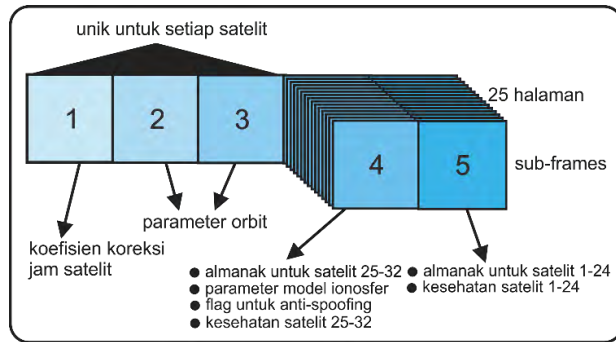
Gambar 2.4 Format pesan navigasi GPS

(Abidin, 2006)

Pesan navigasi tersebut ditentukan oleh segmen sistem kontrol dan dikirimkan (*broadcast*) ke pengguna menggunakan satelit GPS. Salah satu informasi yang terkandung dalam pesan navigasi GPS adalah ephemeris (orbit) satelit yang biasa disebut *broadcast ephemeris*.

*Broadcast ephemeris* ditentukan oleh sistem kontrol GPS dalam dua tahap (Seeber, 1993) dalam (Abidin, 2001). Pada tahap pertama, *ephemeris* referensi ditentukan berdasarkan data pengamatan GPS (*Pseudorange* dan fase) selama 7 hari dari semua stasiun monitor (proses *off-line*), dengan menggunakan program perhitungan orbit. Pada tahap kedua yang merupakan proses *on-line*, perbedaan - perbedaan antara hasil pengamatan yang terbaru dari stasiun monitor dengan ephemeris referensi diturunkan, dan kemudian diproses dengan menggunakan kode *kalman filtering* untuk

memprediksi besarnya koreksi – koreksi bagi *ephemeris referensi*.



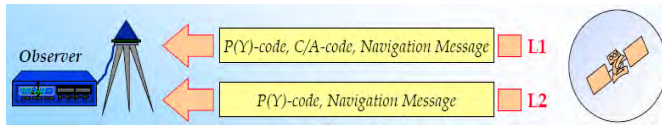
Gambar 2.5 Isi dari pesan navigasi GPS

(Abidin, 2006)

Dalam broadcast ephemeris, informasi tentang posisi satelit tidak diberikan langsung dalam bentuk koordinat, tetapi dalam bentuk elemen – elemen Keplerian dari orbit GPS yang dapat digunakan untuk menghitung posisi satelit dari waktu ke waktu. pada dasarnya broadcast ephemeris berisi parameter waktu, parameter orbit, dan parameter perturbasi dari orbit satelit.

#### 2.2.4 Gelombang Pembawa

Ada dua gelombang pembawa yang digunakan yaitu gelombang L1 dan L2. Gelombang L1 membawa kode- kode P(Y) dan C/A beserta pesan navigasi, sedangkan gelombang L2 membawa kode P(Y) dan pesan navigasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Data dan informasi yang dibawa oleh gelombang pembawa L1 dan L2.

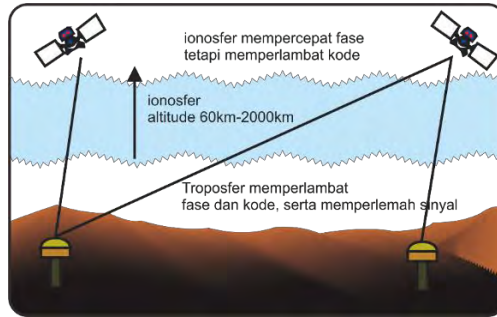
(Abidin, 2006)

Agar gelombang pembawa dapat ‘membawa’ data kode dan pesan navigasi, maka data tersebut harus ditumpangkan ke gelombang pembawa. Dengan kata lain, gelombang pembawa dimodulasikan oleh kode dan pesan navigasi. Proses pemodulasian sinyal GPS melalui dua tahap yaitu *binary-to-binary modification of code* dan tahap *binary biphase modulation*. Pada tahap pertama, *navigaion message* ditumpangkan ke kode  $P(Y)$  dan kode C/A. Sedangkan pada tahap kedua, masing – masing kode telah ‘membawa’ *navigation message* ditumpangkan ke gelombang pembawa L1 dan L2.

### 2.2.5 Perjalanan Sinyal GPS

Sinyal GPS melalui beberapa medium di atmosfer bumi dalam perjalanan sinyal dari satelit ke pengamat, yaitu pada lapisan troposfer dan ionosfer. Pada lapisan tersebut sinyal GPS mengalami gangguan-gangguan termasuk refraksi dan *scintilasi* serta pelemahan (*atmospheric attenuation*) dalam lapisan troposfer. Namun gangguan yang lain juga ada berada pada permukaan bumi seperti pantulan oleh benda-benda disekitar pengamat yang akibatnya biasa di kenal *multipath*, yaitu fenomena dimana sinyal GPS yang diterima oleh antenna adalah resultan dari sinyal langsung dan sinyal pantulan. Kesalahan dan bias tersebut, beserta berbagai jenis kesalahan dan bias lainnya seperti kesalahan orbit dan waktu, akan menyebabkan kesalahan pada jarak ukuran dengan GPS (*Pseudorange* serta jarak fase), sehingga harus diperhitungkan dalam

pemrosesan sinyal GPS untuk keperluan penentuan posisi ataupun parameter lainnya.



Gambar 2.7 Perjalanan sinyal GPS

(Abidin, 2006)

### 2.2.7 Beberapa Kombinasi Data GPS

Kombinasi data juga dapat dilaksanakan antara sesama data *pseudorange* atau antar data *pseudorange* dan jarak fase. Berikut ini akan dijelaskan secara singkat beberapa bentuk kombinasi lain dari data GPS.

#### a. Kombinasi Linier Data Fase

Selain saling dikurangkan antar-sesamanya, data pengamatan GPS pada frekuensi yang berbeda yaitu L1 dan L2 juga dapat saling dikombinasikan. Pengkombinasian secara umum dilakukan terhadap data fase. Hal ini berguna dalam proses penentuan *ambiguitas fase* dari hasil pengamatan fase sinyal-sinyal GPS.

Untuk penentuan ambiguitas dari hasil pengamatan fase tersebut, karakteristik dari hasil kombinasi linier pengamatan fase yang diterapkan adalah sebagai berikut:

- i. Ambiguitas adalah bilangan bulat (*integer*),
- ii. Panjang gelombang relatif panjang,
- iii. Efek dari refraksi ionosfer kecil, dan
- iv. Noise dari pengamatan tetap kecil.

b. Kombinasi Linier Data Pseudorange

Kombinasi antar sesama data pseudorange GPS dapat dilakukan dalam beberapa bentuk tergantung keperluannya. Data pseudorange (kode-P) pada frekuensi L1 dan L2 dapat dikombinasikan berdasarkan formulasi berikut :

$$P_{n,m} = \frac{n.f_1.P_1 + m.f_2.P_2}{n.f_1 + m.f_2} \quad (2.1)$$

Dimana n dan m adalah bilangan bulat.

Pada persamaan (2.1), Proses kombinasi linier hanya mengubah besarnya efek kesalahan dan bias yang besarnya tergantung pada frekuensi sinyal, seperti bias karena refraksi ionosfer, noise dari pengamatan, serta *multipath*. Sedangkan besarnya efek kesalahan dan bias yang besarnya tidak bergantung pada frekuensi sinyal, seperti kesalahan ephemeris, kesalahan dan offset jam GPS receiver maupun satelit, dan bias karena refraksi troposfer, akan tetap sama baik untuk  $P_1$ ,  $P_2$ , maupun  $P_{n,m}$  (Abidin, 2006).

Kombinasi data pseudorange seperti ini biasanya digunakan bersama - sama dengan data kombinasi linier fase untuk membantu mempercepat dan meningkatkan proses ambiguitas data fase GPS.

c. Kombinasi Bebas Ionofer

Satelit GPS terletak diatas permukaan bumi setinggi  $\sim 20.000$  km yang mengirimkan sinyal gelombang mikro dengan dua gelombang pembawa (L1 dan L2), dan gelombang tersebut datang melalui ionosfer sebelum sampai di receiver. Untuk mendapatkan posisi yang akurat, dilakukan penghilangan atau penghapusan penundaan ionosfer (*ionospheric delay*) melalui pengkombinasian *ionospheric-free linear combination* dari dua fase gelombang pembawa (L3) (Cahyadi & Heki, Ionospheric disturbances of the 2007 Bengkulu and the 2005 Nias earthquakes, Sumatra, observed with a regional GPS network, 2013) :

$$L_3 = \frac{f_1^2}{(f_1^2 - f_2^2)L_1} - \frac{f_2^2}{(f_1^2 - f_2^2)L_2} \quad (2.2)$$

$f_1, f_2$  adalah frekuensi sinyal panjang gelombang  $L_1$  dan  $L_2$ , berurutan.

Data kombinasi bebas ionosfer umumnya digunakan untuk aplikasi GPS yang jarak antar stasiannya relative besar, yaitu dalam orde ratusan km atau lebih, dimana efek bias ionosfer umumnya relative besar. Dapat diketahui bahwa yang dieliminasi dengan pengkombinasian kedua data tersebut adalah efek ionosfer orde pertama, yang merupakan komponen bias ionosfer yang paling besar dalam data GPS.

Kombinasi bebas ionosfer tidak mengubah amplitude dari kesalahan dan bias yang besarnya tidak bergantung pada frekuensi, seperti kesalahan

orbit dan bias troposfer. Magnitude dari kesalahan dan bias yang besarnya bergantung pada frekuensi sinyal, seperti multipath, bias ionosfer dan noise akan berubah sesudah pengombinasian.

d. Kombinasi Bebas Geometry

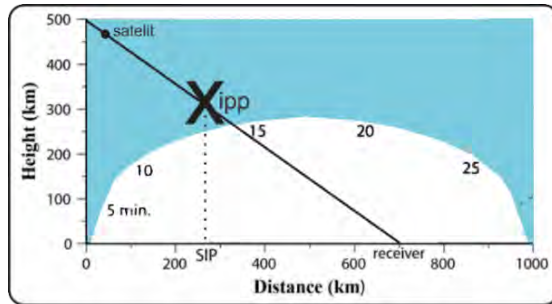
Untuk studi ionosfer, fase berbeda dari dua frekuensi ( $L_4$ ) yang sering dikenal kombinasi linear ionosfer atau *ionospheric linear combination*. Untuk mendapatkan  $L_4$ ,  $L_1$  dan  $L_2$  dikonversi dari radian ke panjang dengan mengalikan setiap panjang gelombang pembawa. Perbedaan antara  $L_1$  dan  $L_2$  ditentukan untuk mendapatkan  $L_4$ . TEC didapatkan dari  $L_4$  dengan mengalikan dengan faktor skala.

$$\Delta L_4 = L_1 - L_2 \quad (2.3)$$

$$\Delta \text{TEC} = \frac{1}{40.308} \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{(f_1^2 - f_2^2) \Delta L_4} \quad (2.4)$$

Kombinasi linear ionosfer sering lebih jauh digunakan untuk mendapatkan TEC dengan menghilangkan ambiguitas (dan *cycle-slips*) dan frekuensi bias dalam data fase (e.g. *Sardon et al., 1994*). Sinyal gelombang mikro mengalami ketergantungan dalam penundaan frekuensi di ionosfer. Dengan membawa perbedaan antara  $L_1$  dan  $L_2$  fase ( $L_4$ ), dapat diperhatikan perubahan temporal TEC selama jarak antara satelit GPS ke receiver atau *Line Of Sight* (disebut *Slant TEC*). Perpotongan LOS dan ionosfer disebut *Ionospheric Pierce Point* (IPP), dan proyeksi dari IPP ke atas permukaan tanah disebut *Sub-ionospheric Point* (SIP) dapat dijelaskan pada Gambar 2.8.





Gambar 2.8 Perbedaan IPP (*Ionospheric Pierce Point*) dan SIP (*Sub-ionospheric Point*)

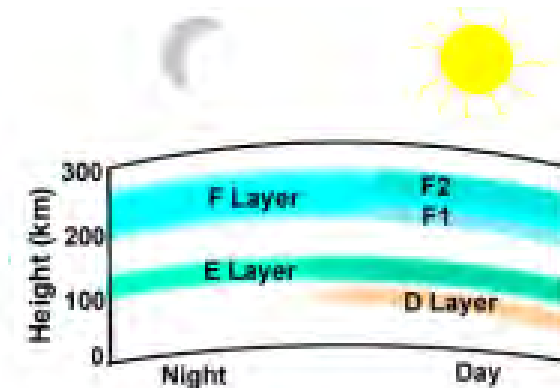
Sumber : dimodifikasi dari (Cahyadi & Heki, 2013)

### **2.3 Karakteristik Ionosfer**

Ionosfer adalah salah satu nama dari lapisan atmosfer bumi yang terionisasi oleh energi matahari. Ionosfer terletak pada ketinggian sekitar 50 km hingga sekitar 1000 km dari permukaan bumi, dan mengandung partikel-partikel bermuatan (Kaloka, Jiyo, Mardini, Perwitasari, & Dear, 2010). Keberadaan lapisan ini penting dalam komunikasi dan aplikasi teknologi yang menggunakan gelombang elektromagnetik, karena atmosfer mampu memantulkan gelombang pendek pada rentang frekuensi tertentu. Lapisan ionosfer terbentuk akibat sinar ultraviolet dari matahari mengenai atom-atom netral di lapisan atas atmosfer bumi. Energi dari ultraviolet ekstrim ini cukup untuk mengionisasi atom-atom netral tersebut, sehingga terbentuk ion-ion (Taufiqurrahman, 2010). Pada siang hari, ionosfer terdiri dari empat lapisan. Pada setiap lapisan terdiri dari ion yang berbeda-beda. Dengan semakin bertambahnya ketinggian, bertambah pula jumlah ionnya. Lapisan-lapisan tersebut yaitu :

1. Lapisan D: Pada ketinggian  $\pm 50 - 90$  km
2. Lapisan E: Pada ketinggian  $\pm 90 - 140$  km
3. Lapisan F1: Pada ketinggian  $\pm 140 - 210$  km
4. Lapisan F2: Pada ketinggian diatas 210 km.

Pada malam hari, jumlah ion di lapisan D, E dan F1 sangat sedikit karena tidak adanya energi matahari. Kadang-kadang pada siang dan malam hari juga teramati bagian dari lapisan E yang muncul secara sporadic disebut lapisan E sporadis (Sporadic E, Es) dalam (Taufiqurrahman, 2010). Dengan demikian lapisan F2 tetap ada selama 24 jam penuh dan dapat dimanfaatkan dalam penggunaan gelombang radio dalam komunikasi dan bidang lainnya.



Gambar 2.9 Perbandingan lapisan di ionosfer pada siang dan malam hari. Pada malam hari tidak terdapat cahaya matahari sehingga lapisan bawah ionosfer tidak terionisasi.

(<http://www.met.nps.edu>, diakses 5 November 2014)

### 2.3.1 Lapisan D

Densitas electron di lapisan D secara normal tidak mempunyai batasan yang jelas. Keduanya memproduksi

ion dengan proses rekomendasi ulang secara komplikasi pada ketinggian 50km dan 95 km. H-Laymann – radiasi  $\alpha$  ( $\lambda = 121,5nm$ ), yang sangat kuat dalam garis spektral, menembus hingga kebawah pada lapisan D dan mempunyai energi yang sangat cukup untuk mengionisasi NO, yang ditemukan pada sejumlah kecil (Taufiqurrahman, 2010). Pada lapisan D ini, sejumlah komplikasi dan berat ion positif dan negatif dibentuk, dan proses mengombinasikan ulang untuk kedua ketergantungan pada tinggi dan suhu.

### 2.3.2 Lapisan E

Lapisan E dapat lapisan *Kennely – Heavyside*, yang terentang pada ketinggian 85 km sampai 140 km. Dengan densitas elektron maksimum ditinggian sekitar 100 km yang dibentuk oleh ionisasi atom oksigen disebabkan radiasi ultra violet matahari, dengan densitas elektron maksimum terjadi di siang hari.

### 2.3.3 Lapisan F1 dan F2

Lapisan tertinggi ionosfer adalah lapisan F yang berada pada ketinggian 140 km sampai 200 km menunjukkan variasi yang berbeda dibandingkan bagian di atasnya, sehingga lapisan ini dibagi menjadi lapisan F<sub>1</sub> dan F<sub>2</sub>. Densitas lapisan F<sub>1</sub> mencapai maksimum pada ketinggian 160 km sampai 180 km terjadi satu jam setelah siang hari. Pada malam hari F<sub>1</sub> dan F<sub>2</sub> bergabung menjadi lapisan F.

Lapisan F<sub>2</sub> merupakan lapisan terluar pada lapisan ionosfer yang mendapatkan pengaruh energi matahari yang terbesar daripada lapisan yang lain. Pada siang hari dan juga terkadang pada sore hari, densitas elektron terbesar terletak kira - kira pada ketinggian 250km sampai 500km atau lebih. Hal ini

karena letaknya yang tinggi dan mendapatkan energi cahaya matahari yang besar pada saat setelah beberapa terbenamnya matahari.

Lapisan-lapisan ionosfer dapat diilustrasikan pada Gambar 2.12 terjadi karena beberapa faktor. Postulasi tersebut dibuat berdasarkan (Abidin, 2006) yaitu sebagai berikut :

1. Spektrum radiasi matahari menyimpan energinya pada beberapa ketinggian bergantung pada karakteristik penyerapan dari lapisan atmosfer.
2. Proses fisika dari rekombinasi ion bergantung pada densitas atmosfer yang bervariasi dengan ketinggian.
3. Komposisi dari atmosfer berubah dengan ketinggian .

## **2.4 Efek Lapisan Ionosfer terhadap Sinyal GPS**

### **2.4.1 Kecepatan Fase dan Group**

Mempertimbangkan sebuah gelombang elektromagnetik tunggal yang merambat di ruang hampa dengan panjang gelombang  $\lambda$  dan frekuensi  $f$ . Kecepatan fasennya

$$v_{ph} = \lambda \cdot f \quad (2.5)$$

adalah merupakan kecepatan fase. Untuk GPS, gelombang pembawa L1 dan L2 merambat dengan kecepatan ini.

Untuk kelompok gelombang dengan pengabaian perbedaan frekuensi, persebaran energi resultan ditentukan oleh kecepatan grup.

$$v_{gr} = -\frac{df}{d\lambda} \lambda^2 \quad (2.6)$$

Berdasarkan (Bauer, 1994) dalam (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 2001). Kecepatan ini telah dipertimbangkan untuk kode pengukuran GPS. Hubungan antara kecepatan fase dan grup mungkin diperoleh dengan membentuk differential total dari persamaan (2.5) yang hasilnya :

$$dv_{ph} = f d\lambda - \lambda df \quad (2.7)$$

Hingga akhirnya pada persamaan Rayleigh

$$v_{gr} = v_{ph} - \lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda} \quad (2.8)$$

Persebaran gelombang bergantung pada media refraksi indeks  $n$ . Secara umum, perambatan kecepatan didapat dari

$$v = c/n \quad (2.9)$$

Menerapkan dari model ini untuk kecepatan fase dan grup, formula yang tepat untuk indeks refraksi yang cocok adalah  $n_{ph}$  dan  $n_{gr}$

$$v_{ph} = c/n_{ph} \quad (2.10)$$

$$v = c/n_{gr} \quad (2.11)$$

Secara mudah perbedaan bentuk diatas didapat dengan diferensiasi hubungan  $c = \lambda.f$  dengan pengaruh ke  $f$  dan  $\lambda$ , adalah

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = -df/f \quad (2.12)$$

Dan dengan substitusi hasil kedalam (2.8):

$$n_{gr} = n_{ph} + f \frac{dn_{ph}}{df} \quad (2.13)$$

### 2.4.2 Refraksi Ionosfer

Ionosfer, perluasan dari beberapa lapis dari sekitar 50 km ke 1000 km diatas permukaan bumi, adalah media dispersi dengan pengaruh kepada sinyal radio GPS. Berikut (Seeber, 1993) dalam (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 2001), serinya :

$$n_{ph} = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots \quad (2.14)$$

Perkiraan dari indeks refraksi koefisien  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  tidak bergantung pada frekuensi tetapi banyaknya  $N_e$  menunjukkan jumlah eketron per meter kubik. (i.e., densitas elektron) sepanjang bagian perambatan. Sehingga dapat disimpulkan dari persamaan diatas bahwa deviasi indeks refraksi grup dan fase from unit dengan tanda keberbalikan. Dengan estimasi untuk  $c_2$  (Seeber 1993) dalam (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 2001)

$$c_2 = -40.3 N_e [\text{Hz}^2] \quad (2.15)$$

Berdasarkan prinsip Fermat, pengukuran jarak ditentukan oleh,

$$s = \int n ds \quad (2.16)$$

Diturunkan sedemikian rupa dengan sehingga hasilnya dapat juga ditulis sebagai,

$$\begin{aligned} \Delta_{ph}^{iono} &= \int \frac{40,3}{f^2} \int N_e ds_0 \\ \Delta_{gr}^{iono} &= \frac{40,3}{f^2} \int N_e ds_0 \end{aligned} \quad (2.17)$$

Dimana (2.15) telah disubsitusikan. Menentukan *Total electron Content* (TEC) dengan

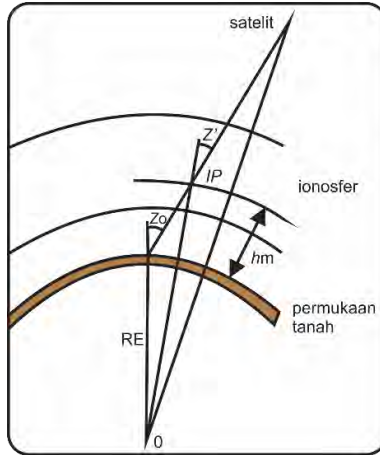
$$\text{TEC} = \int N_e ds_0 \quad (2.18)$$

Dan disubstitusi TEC kedalam (2.16)

$$\Delta_{ph}^{iono} = \int \frac{40,3}{f^2} TEC, \Delta_{gr}^{iono} = \frac{40,3}{f^2} TEC \quad (2.19)$$

Biasanya, TEC diberikan dalam TEC unit (TECU) dimana,

$$1\text{TECU} = 10^{16} \text{ elektron per m}^2 \quad (2.20)$$



Gambar 2. 10 Geometry untuk bagian *delay* ionosfer.

(Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger dan Collins, 2001)

Untuk contoh numerik, C/A –code delay  $\Delta_{gr}^{iono} = 0,16$  m didapat jika satu TECU telah disubsitusikan.

Catatan bahwa TEC sebagai persamaan umum pada (2.18) adalah *total electron content* sepanjang bagian sinyal antara satelit dan receiver. Integral diasumsikan untuk memasukkan kedalam electron dalam sebuah kolom dengan *cross-section* dari  $1 \text{ m}^2$  dan diperpanjang dari receiver ke satelit. Biasanya, *Vertical Total Electron Content* (VTEC) dibentuk. Lebih jauh lagi, kuantitas ini kadang-kadang diperjelas sebagai *overhead total electron content*. Jika, VTEC diketahui dalam persamaan (2.19),

kuantitas mencukupi hanya untuk satelit pada zenith. Untuk garis bidik yang berubah-ubah (Gambar 2.10) sudut zenith dari satelit harus diambil kedalam,

$$\begin{aligned}\Delta_{ph}^{iono} &= -\frac{1}{\cos z'} \frac{40,3}{f^2} \text{TVEC}, \\ \Delta_{gr}^{iono} &= \frac{1}{\cos z'} \frac{40,3}{f^2} \text{TVEC}\end{aligned}\quad (2.21)$$

pada bagian panjang di variasi ionosfer dengan mengubah sudut zenith.

Dua kuantitas berbeda hanya dengan tanda yang berkaitan. Rumusnya adalah sebagai berikut

$$\Delta_{ph}^{iono} = \frac{1}{\cos z'} \frac{40,3}{f^2} \text{TVEC} \quad (2.22)$$

untuk sejumlah (positif) dari pengaruh ionosfer pada pengukuran pseudorange digunakan untuk menghilangkan dari tanda “ph” atau “gr” tetapi perlengkapan sebagai pertimbangan dari kecocokan tanda untuk pseudorange yang dimodelkan oleh  $+\Delta^{iono}$  dan untuk fase oleh  $-\Delta^{iono}$ .

Gambar 2.10 menggantikan model *single – layer* dengan asumsi bahwa semua electron bebas electron bebas yang dikonsentrasikan dalam ketebalan kulit bola secara sangat kecil pada ketinggian dari ionosfer dan mengandung titik ionosferik. Dari Gambar 2.10 hubungannya,

$$\sin z' = \frac{RE}{RE+h_m} \sin z_0 \quad (2.23)$$

Dapat dilihat dimana  $R_E$  adalah rata-rata radius bumi,  $h_m$  adalah nilai tengah untuk ketinggian ionosferik. Dan  $z'$  dan  $z_0$  adalah sudut zenith  $z_0$  dapat dihitung untuk posisi satelit yang diketahui dan perkiraan koordinat dari lokasi pengamatan. Untuk  $h_m$  nilai dalam jarak antara



300km dan 400 km adalah umum. Tinggi hanya sensitif untuk ketinggian satelit yang rendah.

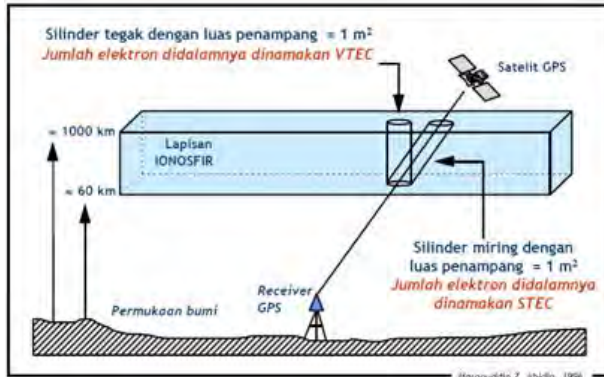
Diperlihatkan pada persamaan (2.19), perubahan jarak disebabkan karena refraksi ionosfer yang mungkin terbatas untuk menentukan TEC. Bagaimanapun, TEC itu sendiri secara adil adalah kuantitas yang sangat rumit karena itu bergantung pada titik aktivitas matahari (kira-kira 11 tahun), variasi *seasonal* dan *diurnal*, jarak terbang yang termasuk elevasi dan azimuth satelit dan posisi tempat pengamatan. TEC mungkin diukur, estimasi, efeknya dihitung dengan model, atau dihilangkan.

## **2.5 Total Electron Content (TEC)**

Informasi tentang karakteristik ionosfer dalam suatu wilayah, biasanya diawali oleh karakteristik dari TEC-nya, akan sangat berguna untuk beberapa hal: seperti untuk telekomunikasi, penentuan posisi dengan satelit, dan kedirgantaraan. Dalam kasus Indonesia, mempelajari karakteristik ionosfer diatas wilayahnya yang begitu luas dan sebagian besar ditutupi air, bukanlah suatu hal yang mudah. GPS akan menjadi suatu sistem yang mempunyai potensi besar untuk mempelajari karakteristik ionosfer diatas wilayah Indonesia, yaitu melalui penentuan dan pemetaan nilai TEC, baik secara spasial maupun secara temporal.

TEC adalah jumlah elektron dalam kolom vertikal (silinder) berpenampang seluas 1 meter<sup>2</sup> sepanjang lintasan sinyal dalam lapisan ionosfer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. TEC per definisi secara lebih spesifik dinamakan *Slant Total Electron Content* (STEC). Disamping STEC, dikenal juga istilah *Vertical Total Electron Content* (VTEC), yang mempresentasikan TEC dalam arah vertikal, seperti yang terlihat pada Gambar 2.11. Nilai TEC biasanya dinyatakan dalam TECU, dimana 1 TECU adalah sama dengan 10<sup>6</sup>

elektron/m<sup>2</sup>. Nilai TEC ionosfer pada umumnya berkisar antara 1 sampai 200 TECU.



Gambar 2. 11 Pengertian VTEC (*Vertical Total Elektron Content*) dan STEC (*Slant Total Elektron Content*)

(Abidin, 2006)

Kecepatan perambatan gelombang pada titik-titik di ionosfer adalah ditentukan oleh densitas elektron di titik-titik tersebut. Makin besar densitas elektron makin tinggi kecepatan perambatannya. Densitas elektron diukur dengan menghitung jumlah elektron di suatu kolom vertikal maupun slant setinggi 1 m di ionosfer dengan penampang melintang seluas 1 m<sup>2</sup>. Jumlah densitas elektron di suatu kolom vertikal maupun slant sepanjang lintasan sinyal dari pembangkit sinyal dengan penampang melintang seluas 1 m<sup>2</sup> atau sebagai integral vertikal dari densitas elektron  $N_e$ .

Dibandingkan dengan teknologi – teknologi yang lain yang telah digunakan, misalnya: Radiosonde, Teknologi GPS memiliki potensi besar untuk menentukan nilai TEC terutama untuk wilayah yang cukup luas dan banyak tertutup air seperti Indonesia (Abidin, 1995) dalam (Abidin, 2006). Disamping itu, karena GPS dapat dimanfaatkan secara kontinu tanpa tergantung waktu, tempat dan cuaca, maka penentuan TEC

dengan GPS dapat dilakukan secara intensif, mudah, efisien, juga ekonomis.

### 2.5.1 Menghitung Efek TEC

Disini, segala refraksi vertikal ionosfer diperkirakan dengan model (Klobuchar, 1986) dalam (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 2001) dan bidang penundaan waktu vertikal untuk kode pengukuran. Meskipun model dalam perkiraan, ini adalah penting karena itu menggunakan siaran radio koefisien ionosfer dalam empat sub-kerangka pesan navigasi. Model Klobuchar adalah:

$$\Delta T_v^{iono} = A_1 + A_2 \cos\left(\frac{2\pi(t-A_3)}{A_4}\right) \quad (2.24)$$

Dimana :

$$A_1 = 5 \cdot 10^{-9} s = 5 \text{ ns}$$

$$A_2 = \alpha_1 + \alpha_2 \varphi_{IP}^m + \alpha_3 \varphi_{IP}^{m^2} + \alpha_4 \varphi_{IP}^{m^3}$$

$$A_3 = 14^{\text{h}} \text{local time}$$

$$A_4 = \alpha_1 + \alpha_2 \varphi_{IP}^m + \alpha_3 \varphi_{IP}^{m^2} + \alpha_4 \varphi_{IP}^{m^3} \quad (2.25)$$

Nilai untuk  $A_1$  dan  $A_2$  adalah konstan, koefisien  $\alpha_i, \beta_i, i = 1, \dots, 4$  diambil pada satelit dan menyebarkan ke pengguna. Parameter  $t$  dalam (2.26) adalah waktu local dari *ionospheric point* (IP) pada (Gambar 2.13) dan mungkin diperoleh dari

$$t = \left(\frac{\lambda_{IP}}{15}\right) + t_{UT} \quad (2.26)$$

dimana  $\lambda_{IP}$  adalah longitudinal positif geomagnetik ke timur IP dalam derajat dan  $t_{UT}$  adalah pengamatan epok dalam *Universal Time*. Akhirnya,  $\varphi_{IP}^m$  dalam persamaan (2.25) adalah jarak yang berbentuk bola antara kutub

geomagnetik dan *ionospheric point*. Menjelaskan koordinat kutub geomagnetic dengan  $\phi_p$ ,  $\lambda_p$  dan semua itu ionospheric point dengan  $\phi_{IP}$ ,  $\lambda_{IP}$  lalu  $\phi_{IP}^m$  diperoleh.

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{IP}^m &= \sin \varphi_{IP} \sin \varphi_P + \\ &\cos \varphi_{IP} \cos \varphi_P \cos(\lambda_{IP} - \lambda_P) \end{aligned} \quad (2.27)$$

dimana koordinat kutubnya

$$\begin{aligned} \phi_P &= 78,03^\circ \text{ N} \\ \lambda_P &= 291,00^\circ \text{ E} \end{aligned} \quad (2.28)$$

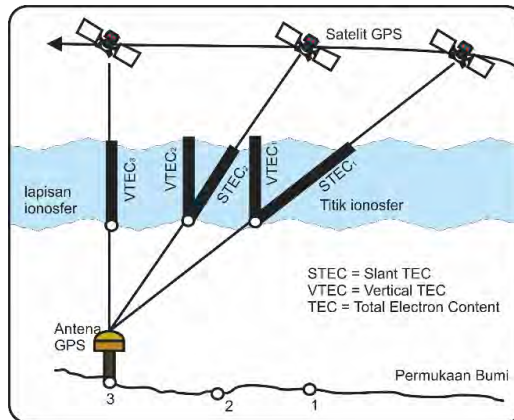
Ringkasnya, menurut (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 2001) evaluasi dari model Klobuchar mungkin diperlihatkan melalui langkah berikut ini:

1. Menghitung azimuth  $\alpha$  dan sudut zenith  $z_0$  dari satelit untuk epok  $t_{UT}$ .
2. Memilih rata-rata ketinggian ionosfer dan menghitung jarak  $s$  antara lokasi pengamatan dan IP diperoleh dari pusat segitiga – lokasi pengamatan – IP dari Gambar 2.10.
3. Menghitung koordinat  $\phi_{IP}$ ,  $\lambda_{IP}$  dari IP dengan rata-rata kuantitas  $a$ ,  $z$ ,  $s$ .
4. Menghitung  $\phi_{IP}^m$  dari (2.27).
5. Menghitung A2 dan A4 dari (2.25) dimana koefisien  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $i = 1, \dots, 4$  yang diterima melalui kiriman satelit navigasi.
6. Menggunakan (2.25) dan (2.26) dan menghitung vertikal (atau zenith)  $\Delta_v^{\text{lono}}$ .
7. Dengan menghitung  $z'$  dari persamaan (2.23) dan menerapkan  $\Delta T^{\text{lono}} = \left( \frac{1}{\cos z'} \right) \cdot \Delta_v^{\text{lono}}$ , transisi dari *vertical delay* ke *delay* sepanjang

bagian gelombang yang dicapai. Hasil yang didapat sebagai *time delay* dalam detik yang harus dikalikan oleh kecepatan cahaya untuk mengonversi ke perubahan jarak.

### 2.5.2 Menentukan STEC dan VTEC

Penentuan nilai TEC (VTEC maupun STEC) dengan GPS pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan dengan jarak ukuran (*Pseudorange* maupun fase) pada dua frekuensi yang berbeda. Karena besarnya bias jarak ionosfer tergantung pada frekuensi, maka dengan membandingkan kedua jarak ukuran tersebut, dengan menggunakan formulasi matematik tertentu, nilai VTEC maupun STEC dapat ditentukan. Perlu ditekanan bahwa karena satelit GPS bergerak dalam orbitnya, maka secara teoritis yang dihitung dari pegamatan GPS pada dasarnya adalah nilai TEC pada titik – titik ionosfer (titik perpotongan sinyal dengan lapisan bawah ionosfer) yang umumnya berbeda dengan titik lokasi antenna GPS, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Gambar Penentuan VTEC dengan GPS

(Abidin 2006)

Seandainya digunakan data *pseudorange* pada dua frekuensi P1 dan P2 maka nilai TEC pada suatu epok tertentu dapat ditentukan dengan formula berikut:

$$\text{STEC} = \frac{(P_1 - P_2) + (MP_1 - MP_2) - (vP_1 - vP_2)}{40.28 \cdot \left( \frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right)} \quad (2.29)$$

Dalam penentuan STEC dengan menggunakan data *pseudorange* dua frekuensi, efek kesalahan multipath dan noise pada data pengamatan umumnya diasumsikan telah diminimalkan dengan strategi pengamatan tertentu ataupun dengan strategi pengolahan data seperti *Smoothing* dan *filtering*. Sehingga rumus diatas umumnya disederhanakan menjadi :

$$\text{STEC} = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40.28 \cdot (f_2^2 - f_1^2)} \cdot (P_1 - P_2) \quad (2.30)$$

Dalam kasus penggunaan data jarak fase pada dua frekuensi, L1 dan L2, maka seandainya efek kesalahan multipath dan noise pada data pengamatan diasumsikan telah diminimalkan dengan strategi pengamatan tertentu ataupun dengan strategi pengolahan data seperti *smoothing* dan *filtering*, maka nilai STEC pada suatu epok tertentu dapat ditentukan dengan formula berikut:

$$\text{STEC} = \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{40.28 \cdot (f_2^2 - f_1^2)} \cdot [(L_1 - L_2) + (\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2)] \quad (2.31)$$

Dimana bilangan ambiguitas fase sinyal L1 dan L2 yaitu N1 dan N2 adalah bilangan yang tidak diketahui nilainya. Untuk dapat menentukan nilai STEC dari data fase dari suatu epok tertentu, maka nilai ambiguitas fase tersebut harus ditentukan terlebih dahulu. Namun perlu

ditekankan bahwa menentukan ambiguitas fase secara benar bukanlah suatu pekerjaan yang mudah apalagi dalam moda *one-way*, maka dengan mengingat bahwa nilai ambiguitas fase dari waktu ke waktu tidak berubah selama tidak terjadi *cycle slip*, persamaan dibawah ini umumnya diterapkan untuk menghitung perubahan STEC dari waktu ke waktu. Dengan mengansumsikan tidak terjadi *cycle clips* antara epok – epok yang berurutan ( $t_1$  dan  $t_2$ ) , sehingga  $N_1(t_1) = N_1(t_2)$  dan  $N_2(t_1) = N_2(t_2)$ , maka persamaan diatas dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\delta\text{STEC} = \frac{f_1^2 f_2^2}{40.28(f_2^2 - f_1^2)} \cdot (\delta L_1 - \delta L_2) \quad (2.32)$$

Dimana  $\delta\text{STEC}$ ,  $\delta L_1$ ,  $\delta L_2$  adalah selisih nilai STEC, jarak fase  $L_1$  dan  $L_2$  antara dua epoch yang berurutan, yang dapat diformulasikan sebagai:

$$\begin{aligned} \delta\text{STEC} &= \text{STEC}(t_2) - \text{STEC}(t_1) \\ \delta L_1 &= L_1(t_2) - L_1(t_1) \\ \delta L_2 &= L_2(t_2) - L_2(t_1) \end{aligned} \quad (2.33)$$

Perlu dicatat bahwa seandainya diperlukan nilai VTEC daripada nilai STEC, maka untuk mendapatkan nilai VTEC dari nilai STEC dititik ionosfer tertentu ( $i$ ) pada suatu epoch tertentu ( $t$ ) , formula berikut dapat digunakan.

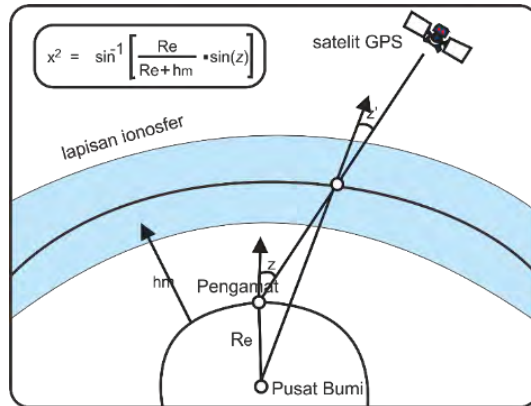
$$\text{VTEC}_i(t) = \text{STEC}_i(t) \cdot \cos z'_i(t) \quad (2.34)$$

Dimana  $z'$  adalah sudut zenith ke satelit di titik ionosfer. Sudut zenith satelit di titik ionosfer ( $z'$ ) dapat dihitung dari sudut zenith( $z$ ) atau sudut elevasi ( $e$ ) di titik pengamat, sebagai berikut :

$$z' = \sin^{-1} \left( \frac{R_e}{R_e + h_m} \sin(z) \right) = \sin^{-1} \left( \frac{R_e}{R_e + h_m} \cos(e) \right)$$

(2.35)

Dimana  $R_e$  adalah radius bumi rata – rata (~6378 km) dan  $h_m$  adalah ketinggian lapisan ionosfer yang dianggap representatif, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Geometri model ionosfer lapisan tunggal  
(Abidin 2006)

Pada model ionosfer tunggal yang umum digunakan, kandungan total elektron bebas pada lapisan ionosfer diasumsikan terkonsentrasi secara homogen dalam lapisan bola dengan ketebalan yang sangat tipis dan terletak pada ketinggian tertentu  $h_m$  di atas permukaan bumi. Untuk harga  $h_m$ , menurut (Garvaise *et al.* 1985) dalam (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 2001) menggunakan 300 km, (wild *et al.* 1989) menggunakan 350 km, (Finn dan Matthewman 1989) menganjurkan 400 km. model ionosfer lapisan tunggal dapat digunakan dalam pengukuran GPS bahwa sinyal GPS melewati lapisan ionosfer dengan ketebalan  $\pm 1000$  km dalam waktu yang sangat singkat, yaitu kurang dari



0,0005 detik sehingga kandungan elektron dalam lapisan ionosfer yang terlewati oleh sinyal tersebut belum berubah secara drastis.

Perlu ditekankan bahwa untuk mempelajari karakteristik ionosfer di wilayah Indonesia, maka data – data GPS dua frekuensi yang telah dikumpulkan oleh BAKOSURTANAL dan telah digunakan dalam penentuan titik – titik kontrol GPS orde -0 (titik kontrol GPS yang paling teliti di Indonesia saat ini), dapat digunakan untuk menentukan TEC. Dengan sekitar 60 titik kontrol GPS orde -0 yang terdistribusi relatif cukup merata diseluruh wilayah Indonesia, serta setiap titik umumnya mempunyai sekitar 4 hari data GPS dua frekuensi, maka karakteristik ionosfer untuk wilayah Indonesia akan dapat ditentukan dengan cukup baik.

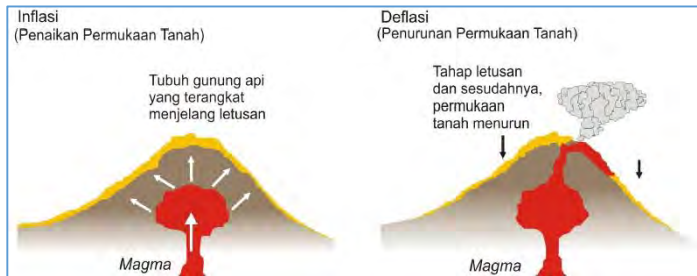
## **2.6 Deformasi**

### **2.6.1 Deformasi Gunung Api dan Metode Pemantauannya**

Berkaitan dengan deformasi tubuh gunung api, selama ini sudah banyak diketahui bahwa letusan-letusan gunung api yang eksplosif sering diawali oleh deformasi berupa kenaikan permukaan tanah yang relatif cukup besar (Scarpa dan Gasparini, 1996) dalam (Abidin, Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya, 2006). Meskipun gunung api yang sudah lama tidak menunjukkan keaktifannya, hal tersebut cukup diyakini adanya deformasi di sekitar tubuh gunung api tersebut. Disamping itu menurut (Van der Laat 1997) serta (Dvorak and Dzurisin 1997), deformasi permukaan gunung api, yang berupa vektor pergeseran titik dan vektor kecepatan perubahannya, dapat memberikan informasi tentang karakteristik dan dinamika dari kantong (*reservoir*) magma. Informasi tersebut dapat dimodelkan dengan tujuan untuk menentukan lokasi, kedalaman, bentuk, ukuran dan perubahan-perubahan sumber tekanan penyebab deformasi. Sehingga dapat diperkirakan bahwa kejadian tersebut adalah pembentukan kantong magma dan kantong hidrotermal. Dalam hal ini, laju pemasukan magma ke tubuh gunung api dan volume muntahan magmanya, seandainya terjadi letusan, akan dapat diduga dengan menggunakan data dan informasi deformasi (Dvorak and Dzurisin 1997) dalam (Abidin, Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya, 2006).

Pada prinsipnya, deformasi tubuh gunung api dapat berupa kenaikan dan penurunan. Pada deformasi tubuh gunung api yang mengalami kenaikan permukaan biasanya terjadi karena ada tekanan keatas oleh magma, biasanya akan terjadi kenaikan keatas secara maksimal terjadi ketika tidak lama letusan gunung api berlangsung.

Namun sebaliknya, pada tubuh gunung api yang mengalami penurunan, terjadi ketika selama atau sesudah letusan karena tidak adanya aktivitas magma sehingga permukaan tanah cenderung kembali ke posisi semula.



Gambar 2. 14 Gejala deformasi pada gunung api aktif

(<https://ekliptika.files.wordpress.com>)

Gejala gunung berapi akan menyebabkan pergeseran titik ke arah vertikal maupun horizontal. Menurut (Van der Laat 1997), nilai pergeseran tersebut bisa mencapai puluhan meter pada gunung api selisik yang membentuk kubah lava.

Pemantauan deformasi suatu gunung api dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam sensor atau sistem, dan berdasarkan moda implementasinya dapat menggunakan dua metode, salah satunya adalah metode kontinu. Metode deformasi kontinu, pemantauan dilakukan secara terus menerus. Patut ditekankan disini bahwa GPS yang dikombinasikan dengan sistem telemetri / komunikasi data juga dapat digunakan untuk memantau deformasi gunung api secara kontinu (Lindqwister et al., 1990 ; Hein and Ried, 1993) dalam (Abidin, 2006).

### **2.6.2 Pemantauan Secara Kontinu**

Prinsip dari metode pemantauan aktivitas gunung api secara kontinu dengan GPS pada dasarnya sangat mudah, yaitu pemantauan terhadap perubahan koordinat dari beberapa titik yang mewakili gunung tersebut dari waktu ke waktu (Abidin, 2006). pada metode ini, receiver menggunakan stasiun CORS-GPS dengan lokasi yang terdekat dengan letusan gunung api.

Pada prinsipnya, untuk memantau perubahan naik turunnya permukaan tanah diperoleh dengan mengamati secara kontinu dari waktu ke waktu dengan menggunakan data stasiun pengamat GPS.

### **2.7 Penelitian Terdahulu**

Pada penelitian sebelumnya, (Hastono, 2008) dengan judul “Analisa Perubahan Karakteristik TEC Akibat Letusan Gunung Merapi Tahun 2010” menerangkan bahwa pada lapisan ionosfer dapat mempengaruhi perambatan atau propagasi elektromagnetik karena memiliki sifat memantulkan gelombang yang mempunyai panjang gelombang yang mirip seperti gelombang radio. Pada lapisan ionosfer ini, sinyal GPS (*Global Positioning Sistem*) dapat menambah waktu perambatannya yang besarnya tergantung pada *Total Elektron Content* (TEC) dan frekuensi sinyal GPS. Sehingga menjadi penyebab kesalahan ukuran jarak dari satelit ke receiver. Pada penelitiannya pada studi meletusnya gunung Merapi pada tahun 2010, memberikan keterangan bahwa pada proses erupsi gunung Merapi ini mengakibatkan perubahan TEC di atas ataupun di daerah sekitar gunung Merapi.

Pada tanggal 1 November 2010 adalah merupakan fase dimana Merapi memasuki masa erupsi. Hasil analisa dari beberapa pengamatan, waktu pengamatan dilakukan selama 4 hari sebelum memasuki fase erupsi dan 4 hari sesudah erupsi menerangkan bahwa nilai TEC terjadi kenaikan yang

disebabkan oleh erupsi gunung Merapi pada saat fase erupsi. Sedangkan setelah gunung Merapi meletus, nilai rata-rata per jam TEC yang diamati cenderung kembali seperti keadaan sebelum gunung Merapi meletus.

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Lokasi Pengamatan

Lokasi penelitian ini dilakukan pada stasiun pengamatan CORS-GPS di seluruh wilayah Pulau Jawa, dan Pulau Sumatra. Berikut adalah nama – nama stasiunnya pada tanggal 26 Oktober 2010, 5 November 2010 dan 15 November 2010 atau GPS-Day 299, 305 dan 319 secara berturut-turut :

Tabel 3. 1 Data CORS-GPS

<b>No.</b>	<b>Stasiun CORS-GPS di Jawa :</b>	<b>Stasiun CORS-GPS di Sumatra :</b>
<b>1</b>	CUJK	CSBK
<b>2</b>	CPSR	CTCN
<b>3</b>	CTVI	CUJK
<b>4</b>	CLBG	CLBG
<b>5</b>	CPMK	JMBI
<b>6</b>	-	MKMK
<b>7</b>	-	MLKN
<b>8</b>	-	NGNG
<b>9</b>	-	LAIS
<b>10</b>	-	LNNG



Gambar 3. 1 Lokasi CORS-GPS

Sumber : (<http://sopac.ucsd.edu/map.shtml>)

## 3.2 Data dan Peralatan

### 3.2.1 Data

Adapun data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah :

- Data Rinex dapat diunduh dari (<http://garner.ucsd.edu/pub/> dan BIG) diakses pada 5 November 2014
- Data Navigasi dapat diunduh dari (<http://garner.ucsd.edu/pub/>) diakses pada tanggal 2 Februari 2015
- *Data earth rotation parameter* dapat diunduh dari (<https://igsb.jpl.nasa.gov/>) diakses pada tanggal 7 Mei 2015
- Data koreksi jam satelit dapat diunduh dari (<https://igsb.jpl.nasa.gov/>) diakses pada tanggal 20 April 2015

- Data SP3 dapat diunduh dari (<https://igsceb.jpl.nasa.gov/>) diakses pada tanggal 20 April 2015
- Data program `rdnrx.f` dan `rdeph.f` dapat diunduh dari (<https://ep.sci.hokudai.ac.jp/~heki/software.htm>) diakses pada tanggal 5 November 2014

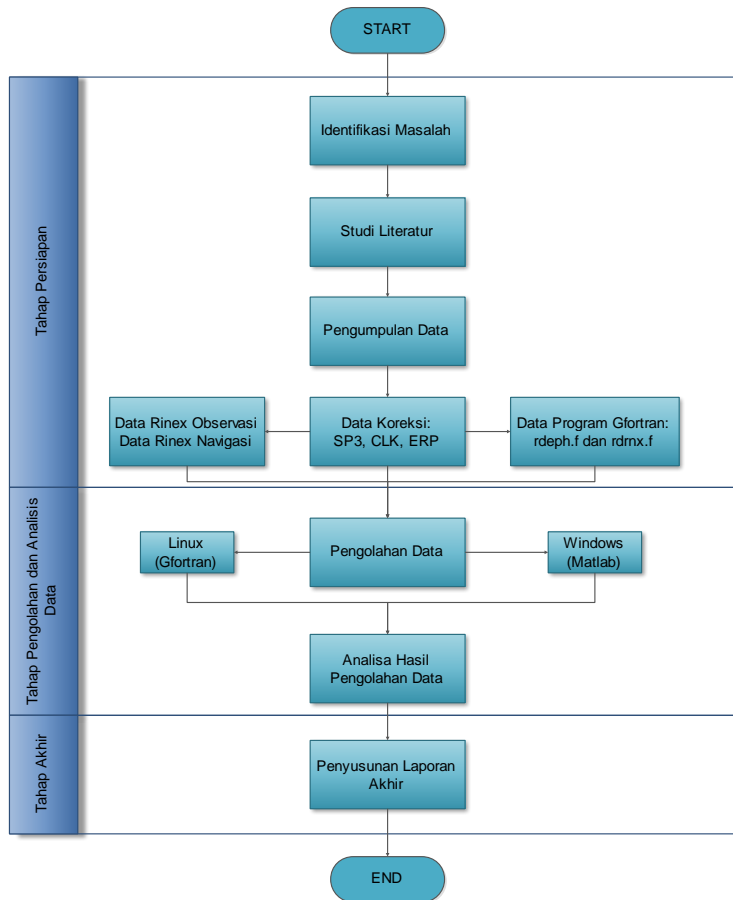
### 3.2.2 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Perangkat Keras (*Hardware*)
  - Laptop
- Perangkat Lunak (*Software*)
  - Windows 7
  - Linux (Ubuntu) operation system 32 bit
  - Microsoft Office 2013
  - Microsoft visio 2007
  - Notepad++
  - Fortran 95
  - Matlab 2013a
  - GPSTool - Matlab



### 3.3 Tahap Pelaksanaan



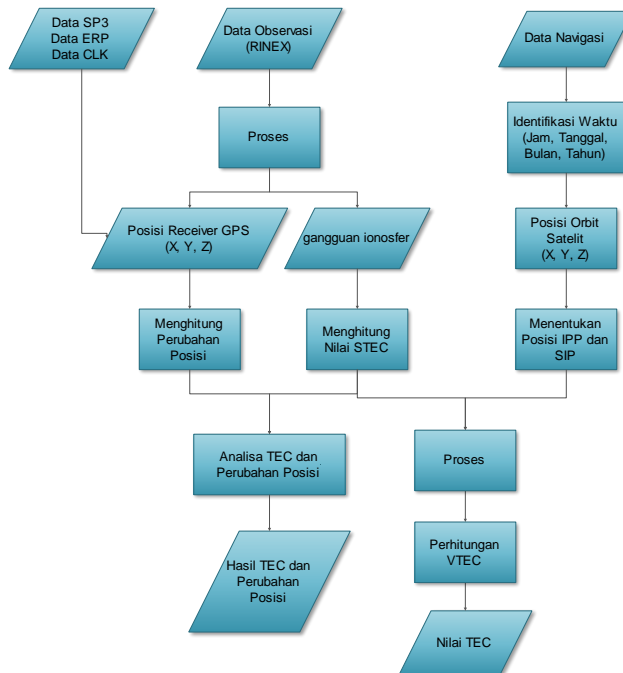
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan

Berikut ini adalah penjelasan diagram alir tahapan pelaksanaan penelitian :

- a. Identifikasi Masalah  
Permasalahan dari penelitian ini adalah bagaimana untuk menentukan perubahan TEC yang diamati dari beberapa stasiun *Continuously Operating Reference System* (CORS) GPS yang berada di pulau Jawa dan bagian Sumatra. Serta mengetahui keterkaitan antara besar TEC terhadap perubahan posisi pada stasiun pengamatan GPS-CORS.
- b. Studi Literatur  
Dalam tahap ini penulis mempelajari literatur bacaan tentang bagaimana cara mengolah dan menentukan TEC yang didapat dari pengamatan CORS-GPS di pulau Jawa dan Sumatra. Pada tahap studi literatur ini penulis dapat menentukan nilai TEC pada saat Gunung Merapi mengalami letusan terbesar dan menentukan perubahan posisi stasiun CORS-GPS yang diambil pada 10 hari sebelum dan sesudah letusan besar.
- c. Pengumpulan Data  
Data – data yang dibutuhkan dari penelitian ini sebagai berikut:
  - data Rinex observasi CORS-GPS di pulau Jawa dan Sumatra dan data navigasi untuk mengetahui orbit satelit.
  - Data program untuk menghitung TEC maupun orbit satelit *rdrnx.f* dan *rdph.f* secara berturut-turut.
  - Data yang lain juga termasuk data koreksi satelit yakti SP3, CLK, dan ERP yang berguna untuk menentukan posisi stasiun GPS-CORS.

- d. **Pengolahan Data**  
Pengolahan data dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi Gfortran pada sistem operasi Linux maupun aplikasi Matlab pada system Windows. Data pengolahan *rdeph.f* dan *rdrnx* dilakukan dengan menggunakan aplikasi Gfortran dan data olahan dari Gfortran selanjutnya dilakukan pengolahan pada Matlab untuk pengeplotan secara visual. Pengolahan ini akan didapat nilai variasi TEC secara keseluruhan yaitu 24 jam lamanya dari beberapa satelit yang melintas. Juga untuk menentukan posisi stasiun GPS-CORS dengan menggunakan aplikasi GPS-TOOL yang merupakan *interface* dari Matlab.
- e. **Hasil dan Analisa**  
Pada tahapan ini akan didapat hasil nilai TEC pada hari dimana Gunung Merapi meletus. Akan terlihat gangguan pada lapisan ionosfer setelah beberapa menit letusan besar Gunung Merapi. Ada juga terjadi beberapa menit sebelum letusan besar. Dari pengamatan ini akan ditentukan keterkaitan antara nilai TEC dan juga besar perubahan posisi yang berada pada pengamatan stasiun GPS-CORS tersebut.
- f. **Penyusunan Laporan**  
Pada tahap akhir penelitian ini akan dilakukan pembuatan laporan sebagai hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

### 3.4 Tahap Pengolahan Data



Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data

Berikut adalah penjelasan diagram alir tahapan pengolahan data :

- a. Mendapat data observasi pengamatan CORS-GPS dalam bentuk RINEX dari instansi Badan Informasi Geospasial dan SUGAR(Sumatra GPS Array). Kemudian dilakukan pengolahan dengan menggunakan aplikasi Fortran untuk menghitung nilai TEC dalam 24 jam dari satelit yang terekam dari beberapa stasiun di Indonesia. Kemudian akan diolah dengan menggunakan aplikasi Matlab

untuk menggambarkan nilai TEC dari pengolahan sebelumnya.

- b. Menentukan orbit satelit sehingga dapat dipetakan dan diproyeksikan ke permukaan bumi. Dari pengolahan ini akan dihasilkan lintasan satelit yang berada pada saat gunung api meletus. Dan juga dapat diketahui pada saat terjadi pertemuan antara gelombang akustik dan gravitasi akibat letusan gunung terhadap ionosfer. Dari data ini akan ditentukan waktu antara pengamatan TEC dengan orbit satelit.
- c. Dari data ini, dapat dihitung nilai TEC dan posisi yang akurat dengan mengombinasikan antara frekuensi L1 dengan frekuensi L2. Yaitu frekuensi L4 (*linear ionospheric kombinasi*), dan frekuensi L3 (*Ionospheric-free linear combination*) secara berurutan. Untuk mendapatkan TEC dapat dicari dengan menggunakan rumus (2.18) dan (2.19) pada bab dua diatas.
- d. Setelah posisi orbit satelit diketahui maka dapat ditentukan posisi *ionospheric Pierce Point* (IPP) dan *Sub-ionospheric Point* (SIP). Sehingga lokasi pada titik ionosfer ini dapat diketahui.
- e. Pada pengolahan ini akan didapat nilai perubahan STEC (*Slant Total Electron Contents*). Untuk mendapat nilai TEC, maka akan dilakukan pengolahan untuk mengetahui (VTEC) *Vertical Total Electron Content* secara relative, yaitu dengan mengurangi nilai STEC tersebut dengan perataannya/polynomial pangkat delapan. Nilai VTEC tersebut dapat dicari dengan menggunakan rumus nomor (2.34) pada bab dua.
- f. Menentukan posisi receiver CORS-GPS dengan menggunakan GPSTool – Matlab. Perhitungan ini

beberapa data yaitu: Data Observasi Rinex sebagai data utama untuk mendapatkan posisi, Data koreksi yang terdiri dari tiga macam yaitu SP3, CLK, dan ERP.

- g. Menentukan Perubahan posisi yang berada pada titik pengamatan stasiun CORS-GPS sebelum dan sesudah Gunung Merapi meletus yaitu pada GPS-Day ke 299 dan GPS-Day ke 319. Hal ini dapat dilakukan dengan pengamatan GPS melalui kombinasi frekuensi L1 dan frekuensi L2 untuk menghilangkan efek ionosfer dengan menggunakan metode *ionospheric linear combination*.
- h. Setelah mendapatkan nilai TEC dan posisi stasiun. Maka selanjutnya akan dilakukan analisa, yaitu perbandingan nilai TEC dan Perubahan posisi setelah Gunung Merapi meletus. Sehingga dapat diketahui bahwa besarnya nilai TEC akan mempengaruhi besarnya perubahan posisi stasiun CORS tersebut.

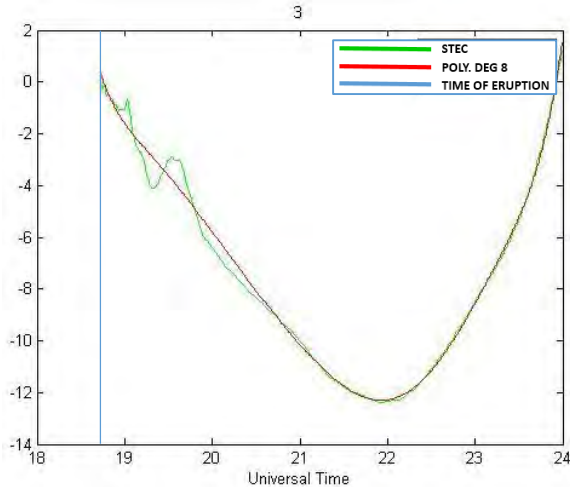
***"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"***

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Gangguan TEC (Hari 308, 4 November 2010)

#### 4.1.1 Pengamatan TEC dari Stasiun CSBK Satelit Nomor 3

##### A. Perhitungan STEC

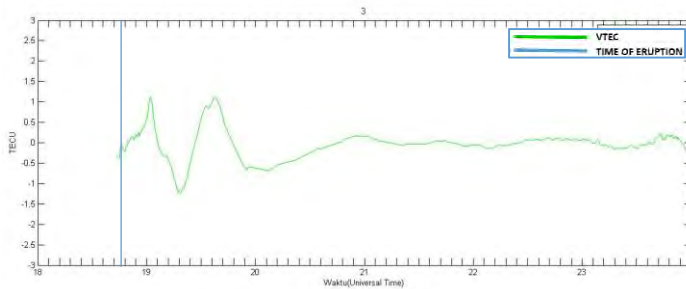


Gambar 4. 1 Perubahan STEC pada satelit 3 dari stasiun CSBK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.1 diperlihatkan bahwa perubahan STEC yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Stasiun CSBK terletak diujung Sumatra bagian selatan, Lampung Barat.



## B. Perhitungan TEC

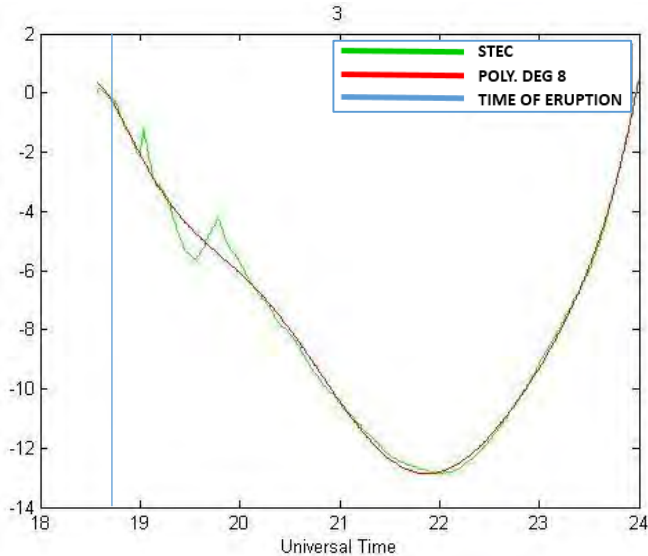


Gambar 4. 2 Pengamatan TEC pada satelit 3 dari stasiun CSBK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa letusan Gunung Merapi yang terjadi adalah pada pukul 18.45 UT (garis biru vertikal). Dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 18 menit letusan Gunung Merapi. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 1,1 TECU diikuti fluktuasi yang kedua yaitu sekitar 1,2 TECU setelah 42 menit kemudian. Lalu Setelah mencapai nilai maksimum maka ionosfer terjadi penurunan hingga minimum sekitar -1,3 TECU setelah 18 menit. Lalu setelah jam 21.00 UT, aktifitas ionosfer kembali normal.

#### 4.1.2 Pengamatan TEC dari Stasiun CTCN Satelit Nomor 3

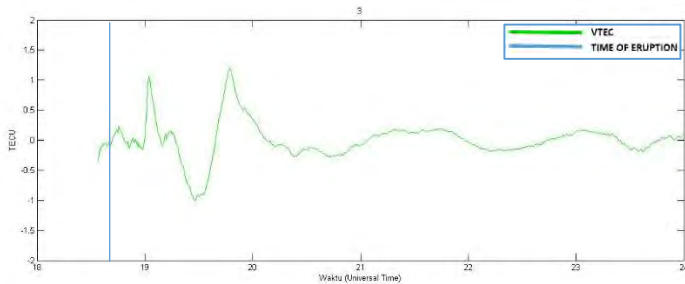
##### A. Tampilan Grafik STEC



Gambar 4. 3 Perubahan STEC pada satelit 3 dari stasiun CTCN yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.3 diperlihatkan bahwa perubahan STEC yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Stasiun CTCN terletak diujung Sumatra bagian selatan, Lampung Timur.

## B. Tampilan Grafik TEC

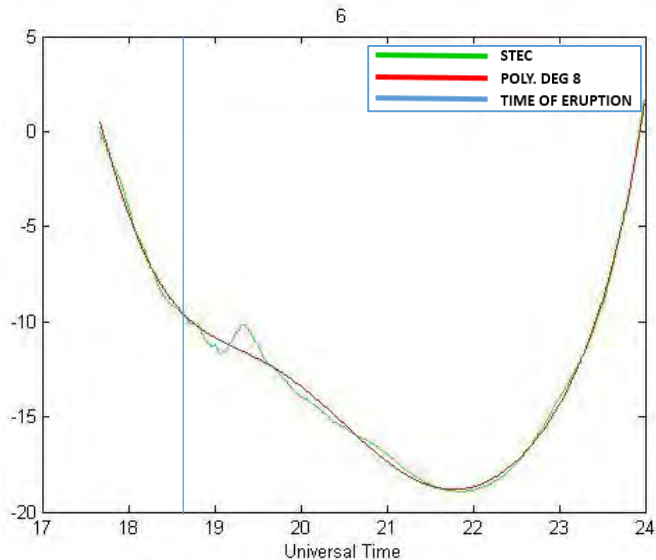


Gambar 4. 4 Pengamatan TEC pada satelit 3 dari stasiun CTCN yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa letusan Gunung Merapi yang terjadi adalah pada pukul 18.45 UT (garis biru vertikal). Dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 18 menit letusan Gunung Merapi. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 1,1 TECU diikuti fluktuasi yang kedua sekitar 1,2 TECU setelah satu jam kemudian. Setelah mencapai nilai maksimum yang pertama maka ionosfer terjadi penurunan hingga minimum sekitar -1 TECU setelah 30 menit. Kemudian kembali mencapai maksimum dengan nilai. Lalu setelah sekitar jam 21.00 UT, aktifitas ionosfer kembali normal seperti semula.

#### 4.1.3 Pengamatan TEC dari stasiun CTCN Satelit Nomor 6

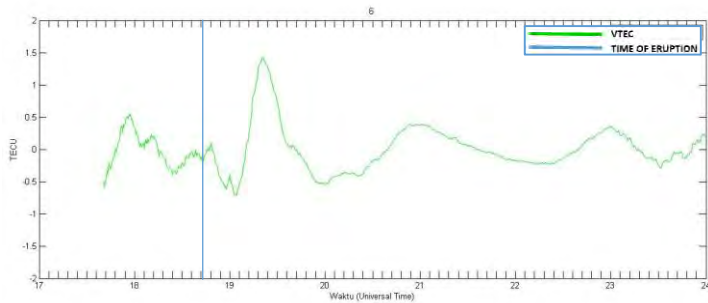
##### A. Tampilan Grafik STEC



Gambar 4. 5 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun CTCN yang diamati dari jam 17.00 UT-24.00 UT

Gambar 4.5 diperlihatkan bahwa perubahan STEC yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Pada kurva hijau menunjukkan nilai variasi ionosfer dan kurva merah menunjukkan pertaan pangkat 8 yang berguna untuk menentukan ionosfer secara vertikal. Stasiun CTCN terletak diujung Sumatra bagian selatan, Lampung Barat.

## B. Tampilan Grafik TEC

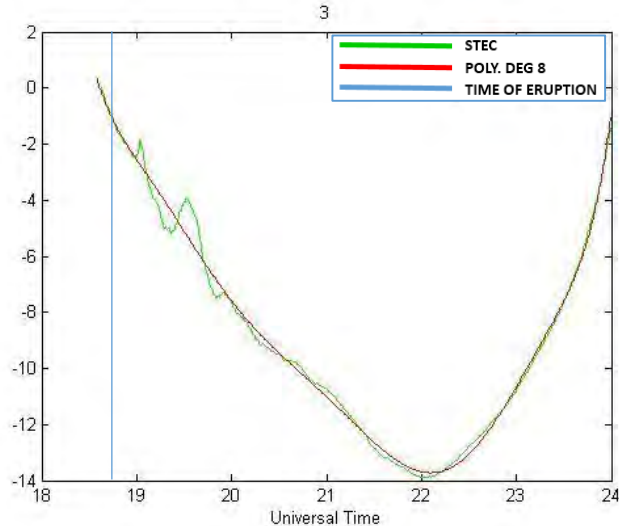


Gambar 4. 6 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun CTCN yang diamati dari jam 17.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa letusan Gunung Merapi yang terjadi adalah pada pukul 18.45 UT (garis biru vertikal). Dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 35 menit letusan Gunung Merapi. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 1,4 TECU. Setelah mencapai maksimum, kemudian aktifitas ionosfer kembali stabil setelah jam 21.00 UT hingga akhir.

#### 4.1.4 Pengamatan TEC dari Stasiun CUJK Satelit Nomor 3

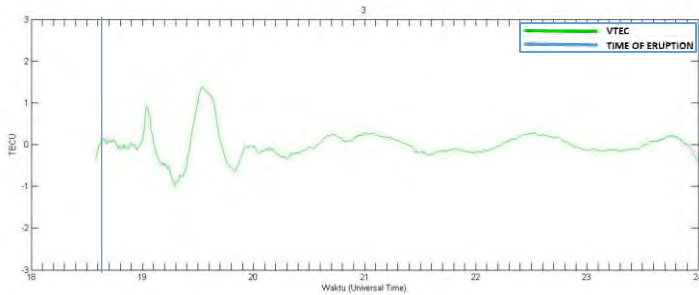
##### A. Perhitungan STEC



Gambar 4. 7 Perubahan STEC pada satelit 3 dari stasiun CUJK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Gambar 4.7 diperlihatkan bahwa perubahan STEC yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Kurva hijau menunjukkan variasi ionosfer yang diamati dan kurva merah menunjukkan perataan pangkat 8 yang digunakan untuk menentukan nilai TEC nya. Stasiun CUJK terletak diujung Jawa barat bagian setelan, daerah Sanghangsirah.

## B. Perhitungan TEC

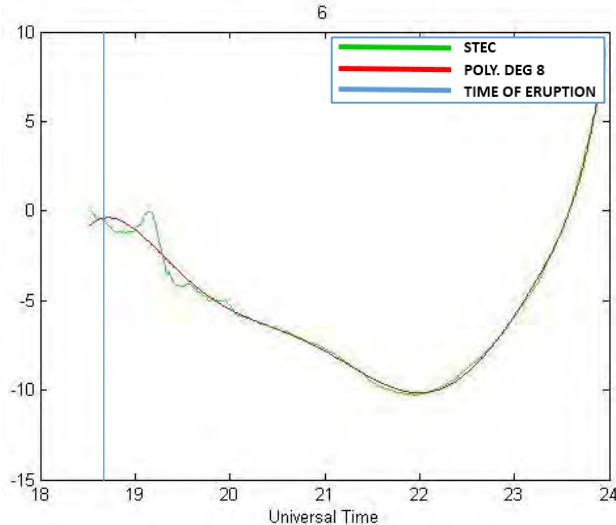


Gambar 4. 8 Pengamatan TEC pada satelit 3 dari stasiun CUJK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa letusan Gunung Merapi yang terjadi adalah pada pukul 18.45 UT (garis biru vertikal). Dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 18 menit letusan Gunung Merapi. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 1 TECU. Setelah mencapai maksimum, ionosfer mengalami penurunan minimum hingga -0,9 TECU. Setelah penurunan tersebut, beberapa saat mengalami nilai maksimum yaitu 1,2 TECU setelah 40 menit kemudian. Nilai ini lebih besar dari nilai fluktuasi pertama. Kemudian setelah pukul 20.00 UT, aktifitas ionosfer kembali stabil.

#### 4.1.5 Pengamatan TEC dari stasiun CUJK Satelit Nomor 6

##### A. Tampilan Grafik STEC

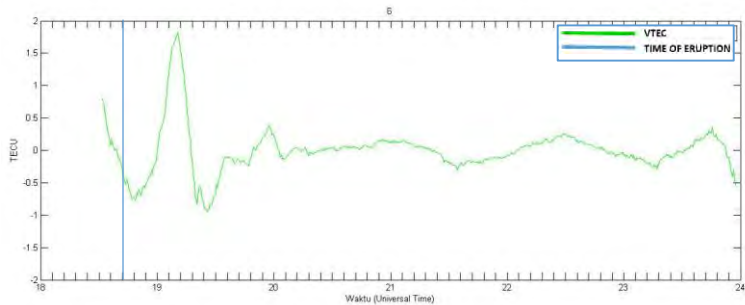


Gambar 4. 9 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun CUJK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Gambar 4.9 diperlihatkan bahwa perubahan STEC yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Garis biru vertikal menunjukkan waktu terjadinya letusan. Kurva hijau menunjukkan variasi ionosfer yang teramati dan kurva merah menunjukkan perataan pangkat 8 untuk menentukan TEC. Stasiun CUJK terletak diujung Jawa barat bagian selatan, daerah Sanghangsirah.



## B. Tampilan Grafik TEC

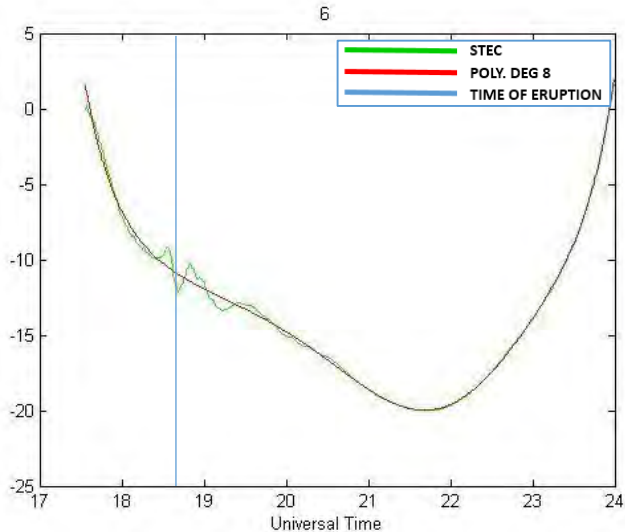


Gambar 4. 10 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun CUIK yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa letusan Gunung Merapi yang terjadi adalah pada pukul 18.45 UT (garis biru vertikal). Dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 18 menit letusan Gunung Merapi. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 1,8 TECU. Setelah mencapai maksimum, ionosfer mengalami penurunan minimum hingga -1 TECU setelah 18 menit kemudian. Setelah penurunan tersebut, kemudian sekitar satu jam kemudian aktifitas ionosfer kembali stabil .

#### 4.1.6 Pengamatan TEC dari stasiun CLBG Satelit Nomor 6

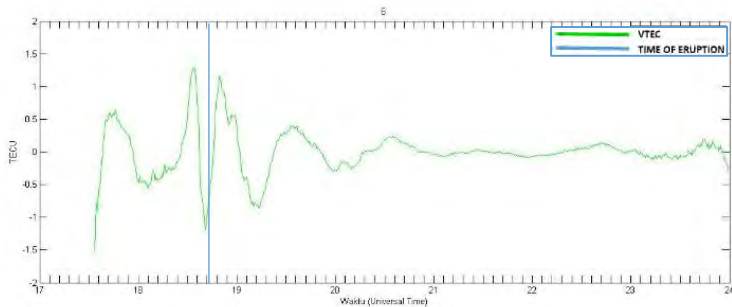
##### A. Tampilan Grafik STEC



Gambar 4. 11 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun CLBG yang diamati dari jam 17.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.11 diperlihatkan bahwa perubahan STEC yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Garis biru vertikal menunjukkan waktu terjadi letusan Gunung Merapi. Kurva hijau dan merah menunjukkan variasi ionosfer yang masing masing adalah nilai pengukuran dan perataan pangkat 8. Stasiun CLBG terletak diujung Jawa barat Barat, daerah Cikalongan Wetan.

## B. Tampilan Grafik TEC

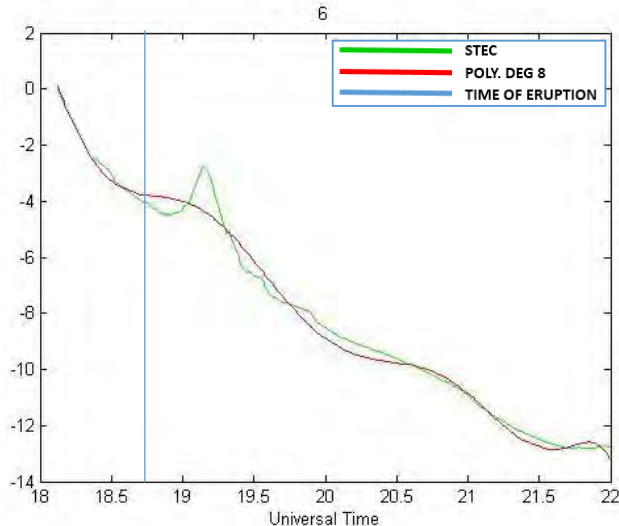


Gambar 4. 12 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun CLBG yang diamati dari jam 17.00 UT-24.00 UT

Berbeda dengan gambar-gambar sebelumnya, pada Gambar ini, Gambar 4.12 dapat diketahui bahwa letusan Gunung Merapi yang terjadi adalah pada pukul 18.45 UT (garis biru vertikal). Dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi sebelum letusan Gunung Merapi yaitu berkisar 8 menit. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 1,5 TECU pada menit ke 18.51 UT. Setelah mencapai maksimum, ionosfer mengalami penurunan minimum hingga -1 TECU. Setelah penurunan tersebut, kemudian setelah jam 20.00 UT aktifitas ionosfer kembali stabil.

#### 4.1.7 Pengamatan TEC dari stasiun CSBK Satelit Nomor 6

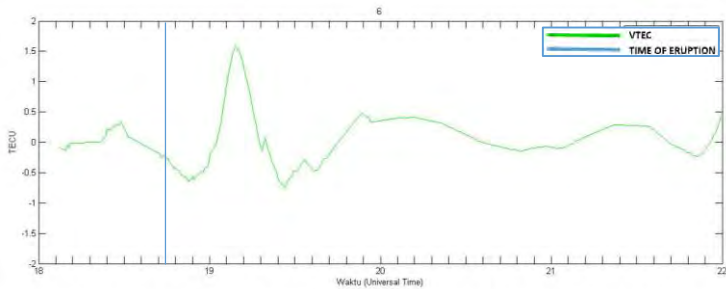
##### A. Tampilan Grafik STEC



Gambar 4. 13 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun CSBK yang diamati dari jam 18.00 UT-22.00 UT

Pada Gambar 4.13 diperlihatkan bahwa perubahan STEC pada kurva hijau yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Pada kurva yang berwarna merah merupakan perataan dari variasi ionosfer seperti yang berwarna hijau, yaitu polynomial pangkat 8. Stasiun CSBK terletak diujung Sumatra bagian selatan, daerah Lampung Barat.

## B. Tampilan Grafik TEC

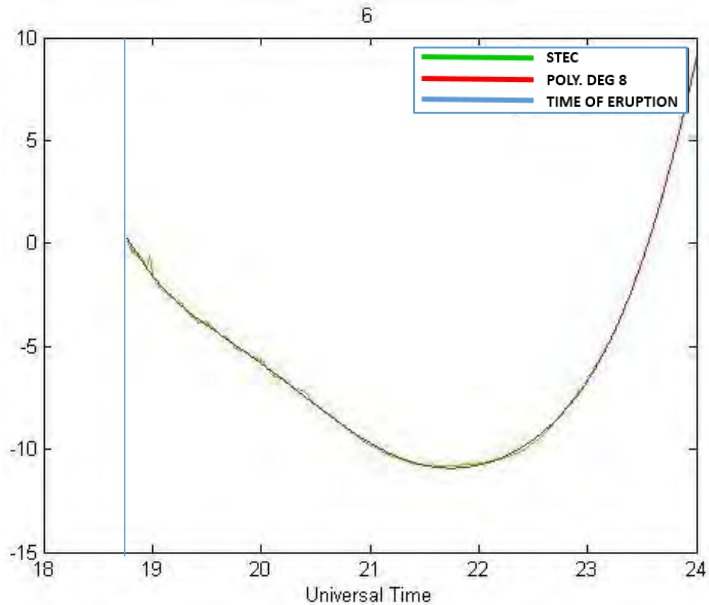


Gambar 4. 14 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun CSBK yang diamati dari jam 18.00 UT-22.00 UT

Gambar 4.14 diketahui bahwa letusan Gunung Merapi yang terjadi adalah pada pukul 18.45 UT (garis biru vertikal). Hasil TEC ini didapat dari pengurangan nilai slant TEC terhadap polynomial pangkat 8. Sehingga, dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 24 menit letusan Gunung Merapi. Nilai TEC yang terbesar adalah sekitar 1,7 TECU. Setelah mencapai maksimum, ionosfer mengalami penurunan minimum hingga -0,7 TECU. Setelah penurunan tersebut, ionosfer kembali pada keadaan semula yang biasa disebut fase *recovery* setelah sekitar satu jam kemudian.

#### 4.1.8 Pengamatan TEC dari stasiun JMBI Satelit Nomor 6

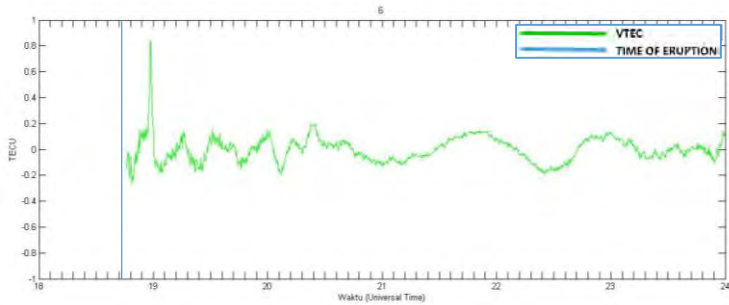
##### A. Tampilan Grafik STEC



Gambar 4. 15 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun JMBI yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.15 diperlihatkan bahwa perubahan STEC yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Kurva merah menunjukkan perataan pangkat 8 dari variasi ionosfer yang ditunjukkan oleh kurva hijau atau biasa disebut STEC. Dapat diketahui juga pada kurva hijau terdapat disturbance 13 menit setelah letusan.

## B. Tampilan Grafik TEC

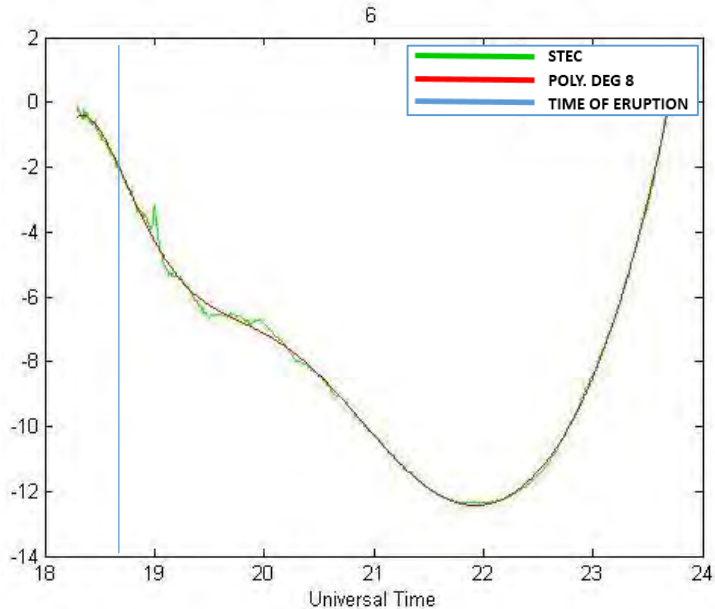


Gambar 4. 16 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun JMBI yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Gambar 4.16 diketahui bahwa letusan Gunung Merapi yang terjadi adalah pada pukul 18.45 UT (garis biru vertikal). Dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi letusan Gunung Merapi setelah 13 menit. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 0,8 TECU. Nilai ini terlihat sangat signifikan, dilihat dari fluktuasi yang disebabkan pada pukul 18.57. Terlihat pada gambar bahwa setelah letusan aktifitas ionosfer kembali normal setelah beberapa menit kemudian.

#### 4.1.9 Pengamatan TEC dari stasiun MLKN Satelit Nomor 6

##### A. Tampilan Grafik STEC

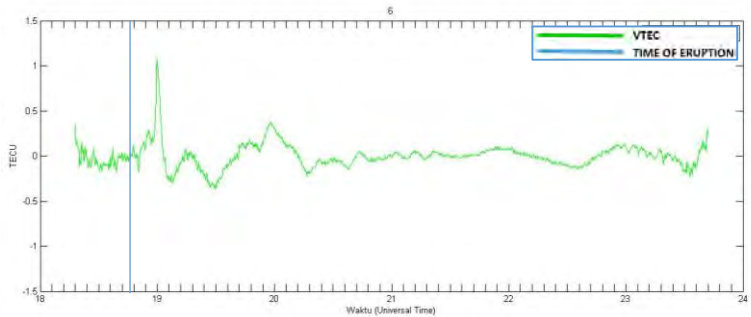


Gambar 4. 17 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun MLKN yang diamati dari jam 18.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.17 diperlihatkan bahwa perubahan STEC pada kurva hijau yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Pada kurva yang berwarna merah didapat dari polynomial pangkat 8, yaitu pendekatan dari kurva hijau.



## B. Tampilan Grafik TEC

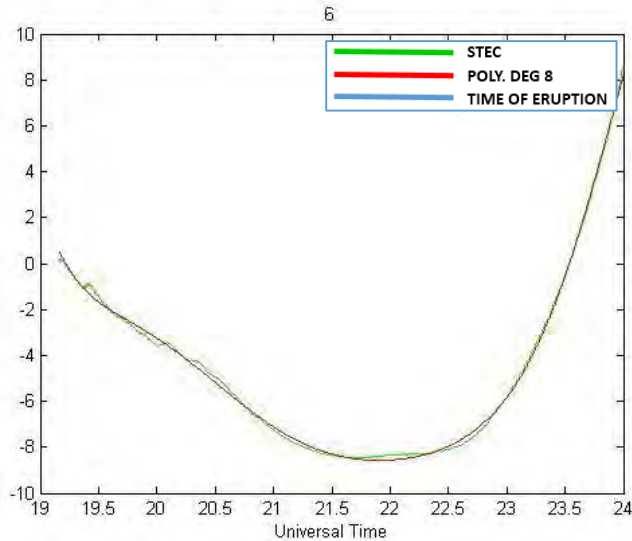


Gambar 4. 18 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun MLKN yang diamati dari jam 18.00UT-24.00UT

Pada gambar diatas dapat diketahui bahwa letusan Gunung Merapi yang terjadi adalah pada pukul 18.45 UT (garis biru vertikal). Dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 15 menit letusan Gunung Merapi. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 1,1 TECU. Nilai ini cukup signifikan dilihat dari nilai ionosfer sebelum dan sesudah letusan. Terlihat pada gambar bahwa setelah letusan aktifitas ionosfer kembali normal setelah pada pukul 20.00 UT.

#### 4.1.10 Pengamatan TEC dari stasiun NGNG Satelit Nomor 6

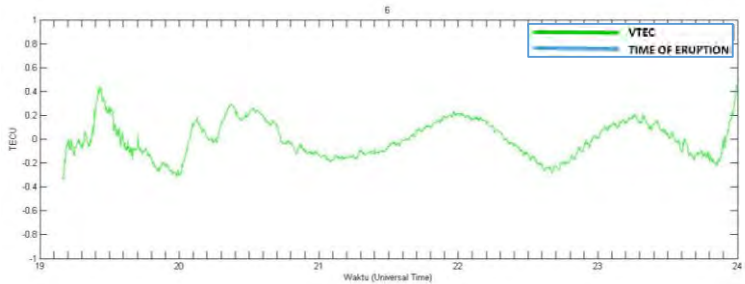
##### A. Tampilan Grafik STEC



Gambar 4. 19 Perubahan STEC pada satelit 6 dari stasiun NGNG yang diamati dari jam 19.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.19 diperlihatkan bahwa perubahan STEC pada kurva hijau yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Pada kurva yang berwarna merah didapat dari polynomial pangkat 8, yaitu pendekatan dari kurva hijau. Sedangkan kurva yang berwarna hijau menunjukkan variasi pengamatan ionosfer.

## B. Tampilan Grafik TEC

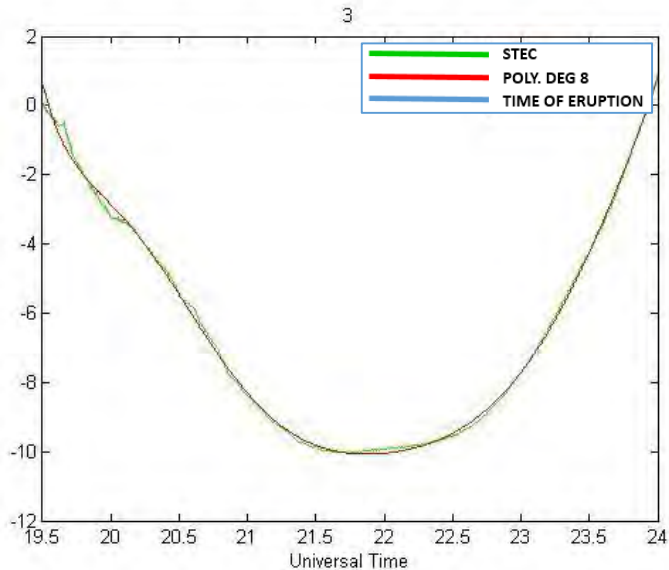


Gambar 4. 20 Pengamatan TEC pada satelit 6 dari stasiun NGNG yang diamati dari jam 19.00UT-24.00UT

Pada gambar diatas rekaman TEC hanya pada pukul 19.12UT-24.00UT. Sedangkan letusan Gunung Merapi terjadi pada pukul 18.45 UT. Namun dengan kurangnya variasi ini, hampir tidak dapat dilihat bahwa gangguan ionosfer terjadi setelah 40 menit setelah letusan Gunung Merapi. Keterlambatan ini terjadi dikarenakan letak stasiun NGNG terlalu jauh dari dari pusat letusan Merapi. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 0,4 TECU. Gangguan ini sulit ditentukan karena variasi ionosfer yang hampir tidak menunjukkan gangguan pada sebelum dan sesudah letusan.

#### 4.1.11 Pengamatan TEC dari stasiun NGNG Satelit Nomor 3

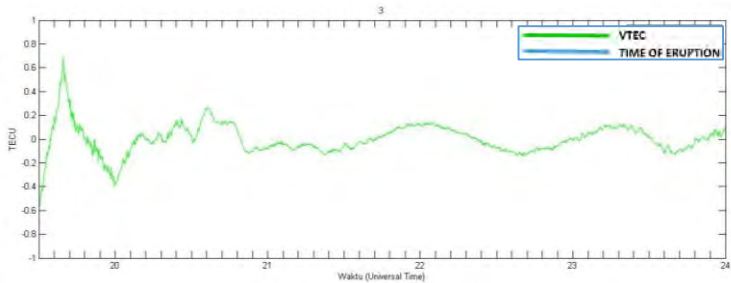
##### A. Tampilan Grafik STEC



Gambar 4. 21 Perubahan STEC pada satelit 3 dari stasiun NGNG yang diamati dari jam 19.00 UT-24.00 UT

Pada Gambar 4.21 diperlihatkan bahwa perubahan STEC pada kurva hijau yang terjadi adalah akibat dari kemiringan satelit yang melintas di atas langit. Nilai yang terbesar menunjukkan bahwa lamanya sinyal satelit yang melintasi ionosfer. Pada kurva yang berwarna merah didapat dari polynomial pangkat 8, yaitu pendekatan dari kurva hijau untuk mendapatkan nilai VTEC.

## B. Tampilan Grafik TEC



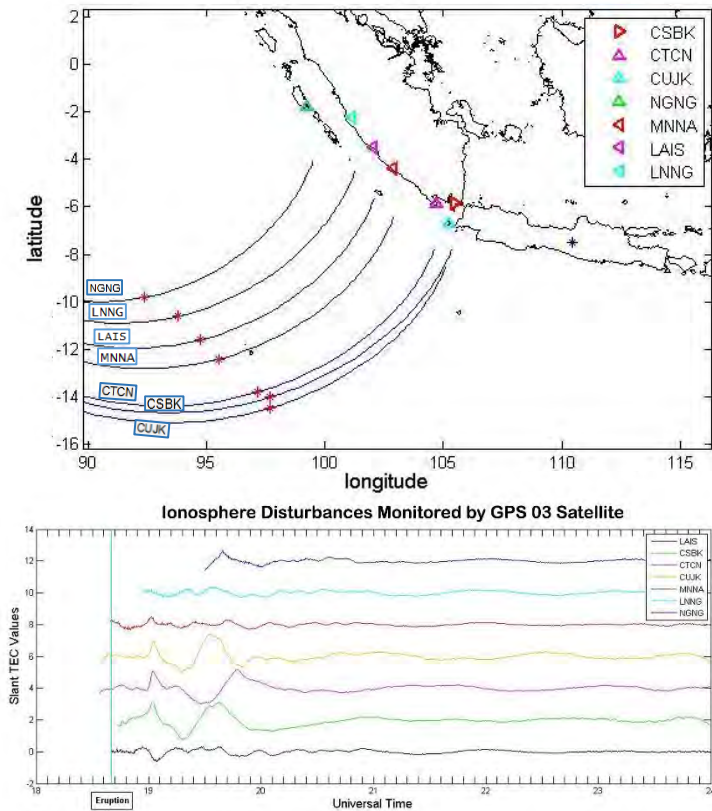
Gambar 4. 22 Pengamatan TEC pada satelit 3 dari stasiun NGNG yang diamati dari jam 19.00UT-24.00UT

Gambar 4.22 menunjukkan rekaman TEC hanya pada pukul 19.30UT-24.00UT. Sedangkan letusan Gunung Merapi terjadi pada pukul 18.45 UT. Gangguan ini sulit dilihat karena gangguan ionosfer terjadi 50 menit setelah letusan Gunung Merapi. Keterlambatan ini terjadi dikarenakan letak stasiun NGNG terlalu jauh dari pusat letusan Merapi. Nilai TEC yang tertinggi adalah sekitar 0,7 TECU. Nilai ini hampir tidak dapat ditentukan pada variasi ionosfer sebelum dan sesudah letusan. Setelah letusan, aktifitas ionosfer kembali normal setelah jam 20.30 UT.

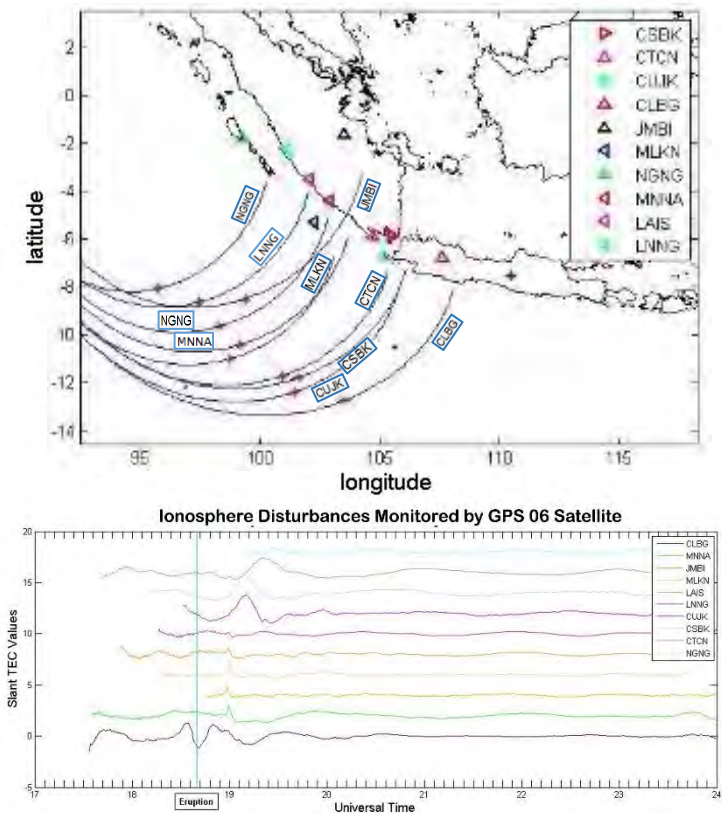
## **4.2 Analisa Penentuan IPP dan SIP**

Pada Gambar 4.23 dan 4.24 dibawah ini dapat dilihat bahwa lintasan satelit nomor 3 dan 6 melewati Indonesia. Dari beberapa lintasan satelit tersebut direkam dari berbagai stasiun CORS-GPS yang ada di Indonesia yang menyebabkan lintasan satelit nampak berbeda-beda. Dari lintasan tersebut dapat diketahui titik IPP (*Ionospheric Pierce Point*). Titik tersebut merupakan perpotongan antara sinyal satelit yang menuju ke stasiun di permukaan bumi terhadap ionosfer yang dianggap datar pada ketinggian 300 km dari permukaan tanah. Titik tersebut tegak lurus terhadap bumi yang dapat diproyeksikan keatas permukaan bumi yang biasa disebut SIP (*Sub-Ionospheric Point*). Sehingga dapat ditentukan lintasan satelit yang direkam pada masing-masing stasiun di permukaan bumi.

Pada lintasan satelit yang direkam oleh beberapa stasiun yang ada di permukaan bumi, khususnya Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4.23. Lintasan satelit yang direkam oleh stasiun NGNG berada paling atas, terlihat bahwa stasiun tersebut juga terletak paling atas. Disusul dengan stasiun yang lainnya yakni, LNNG, LAIS, MNNA, CTCN, CSBK, CUJK yang tersusun kebawah secara berurutan-turut.



Gambar 4. 23 Gambar lintasan dan IPP satelit nomor 3 yang tercatat dari beberapa stasiun CORS-GPS dan nilai TEC



Gambar 4. 24 Gambar lintasan satelit nomor 6 yang tercatat dari beberapa stasiun CORS-GPS dan nilai TEC

Dan juga pada lintasan satelit yang dapat dilihat pada Gambar 4.24. Pada lintasan satelit yang direkam oleh stasiun NGNG berada paling atas, terlihat bahwa stasiun tersebut juga berada di atas daripada stasiun yang lainnya. Untuk lintasan satelit yang terekam oleh stasiun LNNG berada dibawah dari lintasan yang direkam oleh NGNG. Untuk lintasan satelit yang terekam oleh stasiun LAIS berada dibawah dari lintasan yang



direkam oleh LNNG. Begitu pula seterusnya, lintasan satelit yang direkam oleh stasiun GPS-CORS yaitu MNNA, MLKN, JMBI, CTCN, CSBK, CUJK dan secara berurutan.

Jadi dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa lokasi IPP (*Ionospheric Pierce Point*) pada lintasan Satelit nomor 3 dan 6 berbeda-beda berdasarkan letak stasiun GPS yang ada di permukaan bumi. Pada masing-masing stasiun yang merekam gangguan ionosfer, mempunyai nilai yang berbeda-beda setiap dari stasiun pengamatan. Dari lokasi stasiun tersebut dapat diketahui bahwa nilai TEC yang mengikuti besarnya adalah searah. Semakin dekat lokasi stasiun terhadap letusan Gunung Merapi, maka semakin besar pula nilai TEC yang tercatat. Untuk lebih jelasnya, berikut dari pengamatan diatas dapat dirangkum dalam Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 nilai pengamatan TEC dari berbagai stasiun oleh satelit 03 dan 06 berturut-turut.

Tabel 4. 1 Nilai Pengamatan TEC oleh Satelit GPS-03

<b>Nomor</b>	<b>Stasiun GPS</b>	<b>TECU</b>
1	CTCN	1,4
2	CUJK	1,4
3	LAIS	0,4
4	CSBK	1,1
5	MNNA	0,5
6	NGNG	0,7
7	LNNG	0,3

Tabel 4. 2 Nilai Pengamatan TEC oleh Satelit GPS-06

<b>Nomor</b>	<b>Stasiun GPS</b>	<b>TECU</b>
1	CLBG	1,5
2	CTCN	1
3	CUJK	1,8
4	JMBI	0,8
5	LAIS	0,7
6	CSBK	1,7
7	MLKN	1,1
8	MNNA	0,9
9	NGNG	0,4
10	LNNG	0,2

Nilai TEC diatas pada stasiun CLBG, CTCN, CUJK, JMBI, LAIS, CSBK, MLKN, dan MNNA sangat signifikan dapat dilihat. Sedangkan pada stasiun yang lain yang letaknya paling jauh, yaitu NGNG dan LNNG hampir tidak dapat ditentukan nilai TEC-nya karena kurangnya nilai variasi data pengamatan. Namun, jika diamati lebih jauh mempunyai nilai yang sangat kecil.

### 4.3 Analisa Perubahan Posisi Stasiun GPS-CORS

Penganalisaan perubahan posisi dapat ditentukan dengan menggunakan aplikasi matlab. Dengan *interface* yang telah disediakan yaitu menggunakan GPS-Tools. Berikut adalah hasil dari analisa perubahan posisi pada masing-masing stasiun GPS-CORS yang ada di Indonesia akibat dari letusan Gunung Merapi tahun 2010 di Yogyakarta-Jawa Tengah. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 3 Perubahan posisi stasiun CLBG

<b>CLBG</b>		Perubahan posisi sumbu (meter)	Perubahan posisi linier (mm)
	<b>Hari ke-299</b>	<b>Hari ke-319</b>	
<b>x (m)</b>	1917026.2110	1917026.2231	0.0121
<b>y (m)</b>	6037528.4349	6037528.4645	0.0296
<b>z (m)</b>	-753017.9501	-753017.9515	0.0014

Tabel 4. 4 Perubahan posisi stasiun CTCN

<b>CTCN</b>		Perubahan posisi sumbu (meter)	Perubahan posisi linier (mm)
	<b>Hari ke-299</b>	<b>Hari ke-319</b>	
<b>x (m)</b>	1612835.0759	1612835.0815	0.0056
<b>y (m)</b>	6136034.0941	6136034.0905	0.0036
<b>z (m)</b>	-652671.2300	-652671.2352	0.0052

Tabel 4. 5 Perubahan posisi stasiun CUJK

<b>CUJK</b>		Perubahan posisi sumbu (meter)	Perubahan posisi linier (mm)
	<b>Hari ke-299</b>	<b>Hari ke-319</b>	
<b>x (m)</b>	1662215.2460	1662215.2744	0.0284
<b>y (m)</b>	6112312.0289	6112312.0397	0.0108
<b>z (m)</b>	-744318.8770	-744318.8807	0.0037

Tabel 4. 6 Perubahan posisi stasiun JMBI

<b>JMBI</b>		Perubahan posisi sumbu (meter)	Perubahan posisi linier (mm)
<b>Hari ke-299</b>	<b>Hari ke-319</b>		
<b>x (m)</b>	-1490572.0390	-1490572.0479	0.0089
<b>y (m)</b>	6198991.9759	6198991.9871	0.0112
<b>z (m)</b>	-178622.7544	-178622.7604	0.006

Tabel 4. 7 Perubahan posisi stasiun LAIS

<b>LAIS</b>		Perubahan posisi sumbu (meter)	Perubahan posisi linier (mm)
<b>Hari ke-299</b>	<b>Hari ke-319</b>		
<b>x (m)</b>	-1327282.8732	-1327282.8603	0.0129
<b>y (m)</b>	6226241.2471	6226241.2607	0.0136
<b>z (m)</b>	-390001.5425	-390001.5451	0.0026

Tabel 4. 8 Perubahan posisi stasiun LNNG

<b>LNNG</b>		Perubahan posisi sumbu (meter)	Perubahan posisi linier (mm)
<b>Hari ke-299</b>	<b>Hari ke-319</b>		
<b>x (m)</b>	-1233134.1699	-1233134.1687	0.0012
<b>y (m)</b>	6252700.3815	6252700.3851	0.0036
<b>z (m)</b>	-252634.2645	-252634.2684	0.0039

Tabel 4. 9 Perubahan posisi stasiun MLKN

<b>MLKN</b>		Perubahan posisi sumbu (meter)	Perubahan posisi linier (mm)
<b>Hari ke-299</b>	<b>Hari ke-319</b>		
<b>x (m)</b>	-1350309.7048	-1350309.7046	0.0002
<b>y (m)</b>	6205308.6966	6205308.7167	0.0201
<b>z (m)</b>	-591012.9485	-591012.9519	0.0034

Tabel 4. 10 Perubahan posisi stasiun MNNA

MNNA		Perubahan posisi sumbu (meter)	Perubahan posisi linier (mm)
	Hari ke-299	Hari ke-319	
<b>x (m)</b>	-1418608.7355	-1418608.7460	0.0105
<b>y (m)</b>	6198808.6605	6198808.6918	0.0313
<b>z (m)</b>	-491610.7124	-491610.7204	0.008

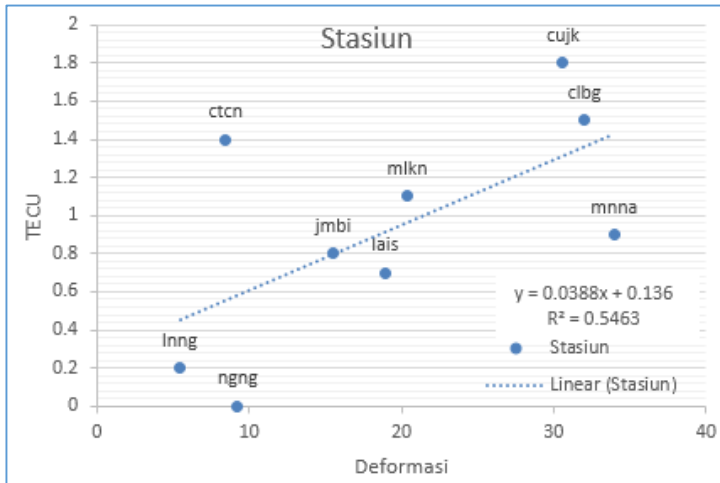
Tabel 4. 11 Perubahan posisi stasiun LNNG

NGNG		Perubahan posisi sumbu (meter)	Perubahan posisi linier (mm)
	Hari ke-299	Hari ke-319	
<b>x (m)</b>	-1026755.4590	-1026755.4535	0.0055
<b>y (m)</b>	6291830.9563	6291830.9637	0.0074
<b>z (m)</b>	-198965.4875	-198965.4868	0.0007

Diatas ada beberapa stasiun CORS pada GPS-DAY hari ke 299 (26 Oktober 2010) dan 319 (15 Nopember 2010). Hari tersebut adalah 20 hari yang diambil pada sebelum dan setelah letusan gunung Merapi 2010.

Pada stasiun CLBG dan CUJK mengalami perubahan posisi yang paling besar yaitu berkisar 32,00 mm dan 30,61 mm secara berturut-turut. Stasiun CLBG dan CUJK ini terdapat dipulau jawa. Sedangkan sebaliknya, stasiun yang mengalami perubahan posisi paling kecil adalah CTCN yaitu sebesar 8,44 mm. Stasiun ini terletak disekitar Lampung Barat, Sumatra. Kejadian yang sangat signifikan terjadi pada stasiun CUJK yang terletak di ujung Jawa Barat, tidak sejauh CTCN dan tidak pula lebih dekat dari CLBG dengan nilai perubahan posisinya yaitu berkisar 30,60 mm. Pengamatan perubahan posisi yang lain dapat dilihat dari berbagai stasiun GPS-CORS yang ada di Sumatra yakni, NGNG, MLKN, LNNG, LAIS, JMBI.

Dari penjelasan diatas, dapat digambarkan hubungan nilai TEC terhadap nilai perubahan posisi yang ditunjukkan oleh Gambar 4.25 dibawah ini.



Gambar 4. 25 Gambar perbandingan TEC dan perubahan posisi

Pada stasiun NGNG dan MNNA yang mengalami perpindahan posisi berkisar 9,24 mm dan 33,96 mm menghasilkan nilai gangguan ionosfer berkisar 0,4 TECU dan 0,9 TECU berturut-turut. Pada stasiun CTCN dan LNNG mengalami perubahan posisi stasiun berkisar 8,44 mm dan 5,44 mm yang juga mencatat gangguan ionosfer berisar 1 TECU dan 0,2 TECU. Sedangkan pada stasiun MNNA dengan nilai perubahan posisi stasiun sebesar 33,96 mm hanya mengalami gangguan ionosfer sebesar 0,9 TECU. Hal ini sangat berbeda dibandingkan dengan stasiun CUJK dan CLBG yang mengalami perubahan posisi stasiun sebesar 30,60 mm dan 32,00 mm dengan nilai gangguan ionosfer sebesar 1,8 TECU dan 1,5 TECU secara berturut-turut.

***"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"***

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin. (2001). *Geodesi Satelit*. Jakarta: PT. Anem Kosong Anem.
- Abidin. (2006). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Cahyadi, M. N. (2014). *Near-Field Coseismic Ionospheric Disturbances of Earthquakes In and Around Indonesia*. Hokkaido: Kosuke Heki.
- Cahyadi, M. N., & Heki, K. (2013). Ionospheric disturbances of the 2007 Bengkulu and the 2005 Nias earthquakes, Sumatra, observed with a regional GPS network. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 118.
- Hastono, W. (2008). *Analisa Perubahan Karakteristik Tec Akibat Letusan Gunung Merapi Tahun 2010*. Surabaya: Teknik Geomatika.
- Heki, K., Otsuka, Choosakul, Hemmacorn, Komolmis, & Maruyama. (2006). Detection of ruptures of Andaman fault segments in the 2004 great Sumatra earthquake with coseismic ionospheric disturbances. *J. Geophys*, 111.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2001). *Global Positioning System*. Graz, Austria: Novographic Druck G.m.b.H..A1230 Wien.



- Kaloka, S., Jiyo, S., Mardini, Perwitasari, & Dear. (2010). *Lapisan Ionosfer, Prediksi Frekuensi, dan Teknis Komunikasi Radio*. Bandung: Pusat Pemanfaatan Sains Antariksa LAPAN.
- Nandi. (2006). *Vulkanisme*. Jakarta: Geologi Lingkungan.
- Spilker, J. J. (1996). "GPS Signal Structure and Theoretical Performance" in *Global Positioning System : theory Application, volume 1, Chapter 3*. Washington D.C.: Edited By B.W. Parkinson et al.
- Taufiqurrahman, E. (2010). *Analisis Korelasi Frekuensi Kritis Lapisan F Ionosfer (F Of2) Dengan Gempa Di Sumatera Barat (Studi Kasus Gempa Tanggal 6 Maret 2007 Dan 30 September 2009)*. Padang: Universitas Andalas.
- Wahyunto, & Wasito. (2014, 12 10). *Lintasa Sejarah Erupsi Gunung Merapi*. Dipetik Desember 10, 2014, dari [www.litbang.pertanian.go.id: http://www.litbang.pertanian.go.id/buku/Erupsi-Gunung-Merapi/Bab-I/1.2.pdf](http://www.litbang.pertanian.go.id/buku/Erupsi-Gunung-Merapi/Bab-I/1.2.pdf)

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian yang dilakukan pada gangguan ionosfer akibat dari erupsi Gunung Merapi tahun 2010 yang terletak di Yogyakarta propinsi Jawa Tengah dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sebelum Gunung Merapi meletus, tidak adanya gangguan yang teramati kecuali pada stasiun CLBG. Hal ini diasumsikan bahwa sebelum letusan terbesar tersebut terjadi, ada rentetan letusan Gunung Merapi yang dapat direkam melalui satelit GPS nomor 6. Pada saat terjadi letusan besar, maka banyak sekali gangguan yang diamati dari beberapa stasiun pengamatan. Gangguan tersebut terjadi dengan rentang waktu yang berbeda-beda. Berikut waktu yang diamati pada saat terjadi letusan:

A. Diamati menggunakan satelit GPS nomor 03.

- CTCN : 18 menit setelah letusan
- CUJK : 18 menit setelah letusan
- LAIS : 12 menit setelah letusan
- CSBK : 18 menit setelah letusan
- MNNA : 17 menit setelah letusan
- NGNG : 50 menit setelah letusan
- LNNG : 35 menit setelah letusan

B. Diamati menggunakan satelit GPS nomor 06.

- CLBG : 8 menit sebelum letusan
- CTCN : 35 menit setelah letusan
- CUJK : 23 menit setelah letusan

- JMBI : 13 menit setelah letusan
  - LAIS : 15 menit setelah letusan
  - CSBK : 24 menit setelah letusan
  - MLKN : 15 menit setelah letusan
  - MNNA : 14 menit setelah letusan
  - NGNG : 40 menit setelah letusan
  - LNNG : 15 menit setelah letusan
2. Melalui pengamatan GPS-CORS yang ada di Jawa dan Sumatra, didapatkan nilai TEC setiap stasiun GPS-CORS sebagai berikut:
- A. Diamati menggunakan satelit GPS nomor 03.
- CTCN : 1,4 TECU
  - CUJK : 1,4 TECU
  - LAIS : 0,4 TECU
  - CSBK : 1,1 TECU
  - MNNA : 0,5 TECU
  - NGNG : 0,7 TECU
  - LNNG : 0,3 TECU
- B. Diamati menggunakan satelit GPS nomor 6.
- CLBG : 1,5 TECU
  - CTCN : 1 TECU
  - CUJK : 1,8 TECU
  - JMBI : 0,8 TECU
  - LAIS : 0,7 TECU
  - CSBK : 1,7 TECU
  - MLKN : 1,1 TECU
  - MNNA : 0,9 TECU
  - NGNG : 0,4 TECU
  - LNNG : 0,2 TECU

3. Ada beberapa nilai dalam pengamatan perubahan posisi yang diakibatkan dari letusan Gunung Merapi. Perubahan posisi yang paling besar ditunjukkan pada stasiun yang ada di pulau Jawa. Berikut adalah hasil perubahan posisi yang diamati:

- CLBG : 32.0 mm (berada di Jawa)
- CUJK : 30.6 mm (berada di Jawa)
- CTCN : 8.4 mm (berada di Sumatra)
- JMBI : 15.5 mm (berada di Sumatra)
- LAIS : 18.9 mm (berada di Sumatra)
- LNNG : 5.4 mm (berada di Sumatra)
- MLKN : 20.4 mm (berada di Sumatra)
- MNNA : 34.0 mm (berada di Sumatra)
- NGNG : 9.2 mm (berada di Sumatra)

Dari studi ini, tidak dapat disimpulkan bahwa pengukuran gangguan ionosfer pada letusan Gunung Merapi 2010 berkaitan dengan nilai perubahan posisi stasiun GPS-CORS yang berada pada pulau Sumatra dan Jawa. Untuk itu, perlu adanya data pengamatan stasiun GPS-CORS yang lebih banyak yang terletak di lokasi Gunung Merapi untuk menentukan hubungan nilai perubahan posisi dan gangguan ionosfer. Lokasi stasiun yang letaknya tidak berada di sekitar Gunung Merapi sangat memungkinkan bahwa faktor perubahan posisi stasiun tidak disebabkan oleh letusan itu sendiri melainkan dari faktor lain seperti pergerakan lempeng dll.

## **5.2 Saran**

Dari penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang dapat diberikan yaitu sebagai berikut:

- a. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kecepatan gelombang akibat dari erupsi Gunung Merapi 2010.
- b. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, diperlukan data yang lebih dalam pengamatan stasiun GPS-CORS di seluruh Pulau Jawa terutama disekitar Gunung Merapi.
- c. Untuk mendapatkan pola hubungan antara deformasi dan gangguan ionosfer, perlu adanya data pengamatan stasiun GPS-CORS yang ada di sekitar Gunung Merapi.

# LAMPIRAN

## 1. Contoh Data Rinex Observasi

```

2.11          OBSERVATION DATA      M
RINEX VERSION / TYPE
SPIDER V3,2,1,3225          2010 11 05 00:14      PGM
/ RUN BY / DATE
clbg
MARKER NAME
clbg
MARKER NUMBER

OBSERVER / AGENCY
351656          LEICA GRX1200GGPRO  5.00/3.013      REC
# / TYPE / VERS
200325          LEIAT504GG          LEIS          ANT
# / TYPE
-1917026.1501  6037528.4757  -753017.9193
APPROX POSITION XYZ
          0.0083          0.0000          0.0000
ANTENNA: DELTA H/E/N
          1          1
WAVELENGTH FACT L1/2
          8          C1          L1          D1          S1          P2          L2          D2          S2          # /
TYPES OF OBSERV
          30.000
INTERVAL
          2010          11          04          00          00          0.0000000          GPS          TIME
OF FIRST OBS
          2010          11          04          23          59          30.0000000          GPS          TIME
OF LAST OBS
          15          LEAP

```

## 2. Contoh Data Rinex Navigasi

2.10	NAVIGATION DATA	RINEX
VERSION / TYPE		
SPIDER V3,2,0,3217	2010 11 08 01:42	PGM /
RUN BY / DATE		
1.2107D-08 -7.4506D-09 -1.1921D-07 5.9605D-08		ION
ALPHA		
9.6256D+04 -3.2768D+04 -1.9661D+05 1.9661D+05		ION
BETA		
1.862645149231D-09 9.769962616701D-15 589824 1608		
DELTA-UTC: A0,A1,T,W		
15		LEAP
SECONDS		
FOR DEMONSTRATION PURPOSES ONLY		
COMMENT		
		END
OF HEADER		
1 10 07 03 04 00 0.0-1.370413228869D-04-3.979039320257D-12		
0.000000000000D+00		
8.900000000000D+01-4.321875000000D+01 4.648407880836D-09-		
9.226417498580D-01		
-2.024695277214D-06 4.842834547162D-03 5.045905709267D-06		
5.154797956467D+03		
5.328000000000D+05 4.284083843231D-08 2.924500682564D+00		
4.470348358154D-08		
9.654316150619D-01 2.824062500000D+02 8.847536345231D-01-		
8.226414216495D-09		
9.607543233203D-11 1.000000000000D+00 1.590000000000D+03		
0.000000000000D+00		
2.000000000000D+00 1.000000000000D+00-1.909211277962D-08		
8.900000000000D+01		

### 3. Contoh Program Matlab yang digunakan (TEC)

```
[name,dir]=uigetfile
fid=fopen([dir name], 'r')
nLines = 0;
while (fgets(fid) ~= -1),
    nLines = nLines+1;
end
fclose(fid);

fid=fopen([dir name], 'r')
A=[];
N=[];

for i=1:nLines
    str=fgets(fid);
    nchar=length(str);
    if nchar==20
        a=str2num(str);
    elseif nchar~=20
        deg=[nan nan];
        a=[nan nan];
        n=str2num(str(:,7:8));
    %-----
        N=[N;n];
    end
    A=[A;a];
end
A
fclose(fid)
```



#### 4. Contoh Program Matlab yang digunakan (IPP)

```
load ('datanav3080.mat')
datasat=nav3080;
%titik stasiun buat merapi
%03 06 csbk
x23 = [-1696070.5195 6113721.9670 -651478.0190];
[lo,la,h] = cart2sph(x23(1,1),x23(1,2),x23(1,3));
figure,
plot((lo*180/pi),(la*180/pi),'>x','LineWidth',2);
hold on
%03 06ctcn
x24 = [-1612834.7180 6136034.2867 -652672.8812];
[lo,la,h] = cart2sph(x24(1,1),x24(1,2),x24(1,3));
plot((lo*180/pi),(la*180/pi),'^m','LineWidth',2);
%03 06cujk
x25 = [-1662215.0130 6112311.9546 -744320.3421];
[lo,la,h] = cart2sph(x25(1,1),x25(1,2),x25(1,3));
plot((lo*180/pi),(la*180/pi),'^c','LineWidth',2);
%06 clbg
x26 = [-1917026.1501 6037528.4757 -753017.9193];
[lo,la,h] = cart2sph(x26(1,1),x26(1,2),x26(1,3));
plot((lo*180/pi),(la*180/pi),'^r','LineWidth',2);
%06 JMBI
x27 = [-1490572.4591 6198992.6743 -178622.0573];
[lo,la,h] = cart2sph(x27(1,1),x27(1,2),x27(1,3));
plot((lo*180/pi),(la*180/pi),'^k','LineWidth',2);
```

## 5. Surat permohonan Data GPS-CORS

	<p align="center"><b>KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN</b>  <b>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</b>  <b>JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA</b>  <b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b>          Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111          Telp: 031-5929487; 5994251-55 ext. 1149 / Fax: 031-5929487          e-mail : geodesy@its.ac.id</p>												
<p>Nomor : 078 /IT2.3.1.4/TU.00.09/2015          Perihal : Permohonan Data</p>	<p align="right">Surabaya, 11 Februari 2015</p>												
<p>Yth.          KEPALA PUSAT JARING KONTROL GEODESI DAN GEODINAMIKA          BADAN INFORMASI GEOSPASIAL          Jl. Raya Jakarta - Bogor KM. 46 Cibinong 16911, INDONESIA          Telp. 021-8753155 atau 021-8752062 ext.3608/3611/3103          Fax. 021-87908988/87916647</p>													
<p>Dengan hormat,          Sehubungan dengan penelitian Tugas Akhir Mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika di bawah ini</p>													
<table border="0"> <tr> <td>Nama</td> <td>:</td> <td>Lino Garda Denaro</td> </tr> <tr> <td>NRP</td> <td>:</td> <td>3511100033</td> </tr> <tr> <td>Judul Tugas Akhir</td> <td>:</td> <td>"Analisis Perubahan Ionosfer Dan Deformasi Pada Letusan Gunung Merapi Yogyakarta 2010 (Studi Kasus : Gunung Merapi, DIY)"</td> </tr> <tr> <td>Data yang dibutuhkan</td> <td>:</td> <td>- Data GPS hari ke 299 - 319 (26 Oktober 2010 - 15 November 2010) yang ada di Indonesia.</td> </tr> </table>	Nama	:	Lino Garda Denaro	NRP	:	3511100033	Judul Tugas Akhir	:	"Analisis Perubahan Ionosfer Dan Deformasi Pada Letusan Gunung Merapi Yogyakarta 2010 (Studi Kasus : Gunung Merapi, DIY)"	Data yang dibutuhkan	:	- Data GPS hari ke 299 - 319 (26 Oktober 2010 - 15 November 2010) yang ada di Indonesia.	
Nama	:	Lino Garda Denaro											
NRP	:	3511100033											
Judul Tugas Akhir	:	"Analisis Perubahan Ionosfer Dan Deformasi Pada Letusan Gunung Merapi Yogyakarta 2010 (Studi Kasus : Gunung Merapi, DIY)"											
Data yang dibutuhkan	:	- Data GPS hari ke 299 - 319 (26 Oktober 2010 - 15 November 2010) yang ada di Indonesia.											
<p>Untuk mohon kiranya dapat diizinkan menggunakan data GPS pada judul tugas akhir di atas.</p>													
<p>Demikian surat dari kami, atas perhatian Bapak/ Ibu kami sampaikan terima kasih.</p>													
<p align="right">          Ketua Jurusan Geomatika FTSP ITS          Muhammad Taufik          NIP. 1955 0919 1986 03 10014       </p>													
<p>Nb : Mohon kiranya data GPS diatas dapat dikirimkan melalui e-mail berikut, <a href="mailto:lino11@mhs.geodesy.its.ac.id">lino11@mhs.geodesy.its.ac.id</a></p>													

***"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"***

## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Batam, 03 Juni 1993, merupakan anak pertama dari 2 saudara. Penulis pernah menempuh pendidikan formal di TK Aisyiyah Bustanul Atfal – Kromasan, Ds. Bendosari, Kec. Kras, Kab. Kediri. Kemudian melanjutkan di SDN Sumberjo 1, SMP Negeri 1 Kandat kec. Kandat-kab. Kediri yang lulus pada tahun 2008 dan melanjutkan di SMA Negeri 4 Kediri dan lulus

pada tahun 2011. Kemudian tahun 2011 penulis mengikuti tes seleksi masuk perguruan tinggi negeri (SNMPTN dan UM PENS). Dan akhirnya penulis bisa lolos pada kedua tes tersebut. Namun penulis lebih memilih untuk melanjutkan kuliah S-1 di Teknik Geomatika-FTSP, ITS dan terdaftar dengan NRP 3511100033. Di Teknik Geomatika penulis memilih bidang kajian geodesi. Selama duduk di bangku SMP, penulis tidak pernah mengikuti organisasi-organisasi yang terdapat di sekolah, namun pada jenjang SMA penulis mengikuti organisasi OSIS di bidang Seni dan Olahraga. Dan pada saat penulis sudah memasuki pendidikan kuliah, penulis aktif sebagai keanggotaan organisasi di HIMAGE-ITS sebagai staf magang. Pada periode kepengurusan 2012-2013, penulis menjabat sebagai staf Riset dan Teknologi (RISTEK) BEM FTSP-ITS. Kemudian pada periode kepengurusan 2013-2014, penulis menjabat sebagai Sekretaris Departemen RISTEK BEM FTSP – ITS.

***"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"***